

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-223078

(43)Date of publication of application : 17.08.2001

(51)Int.Cl.

H05B 33/12

H05B 33/02

H05B 33/14

(21)Application number : 2001-017758

(71)Applicant : GENERAL ELECTRIC CO &lt;GE&gt;

(22)Date of filing : 26.01.2001

(72)Inventor : DUGGAL ANIL RAJ  
SRIVASTAVA ALOK MANI

(30)Priority

Priority number : 2000 592045

Priority date : 12.06.2000

Priority country : US

2000 178451

27.01.2000

2000 194068

31.03.2000

US

US

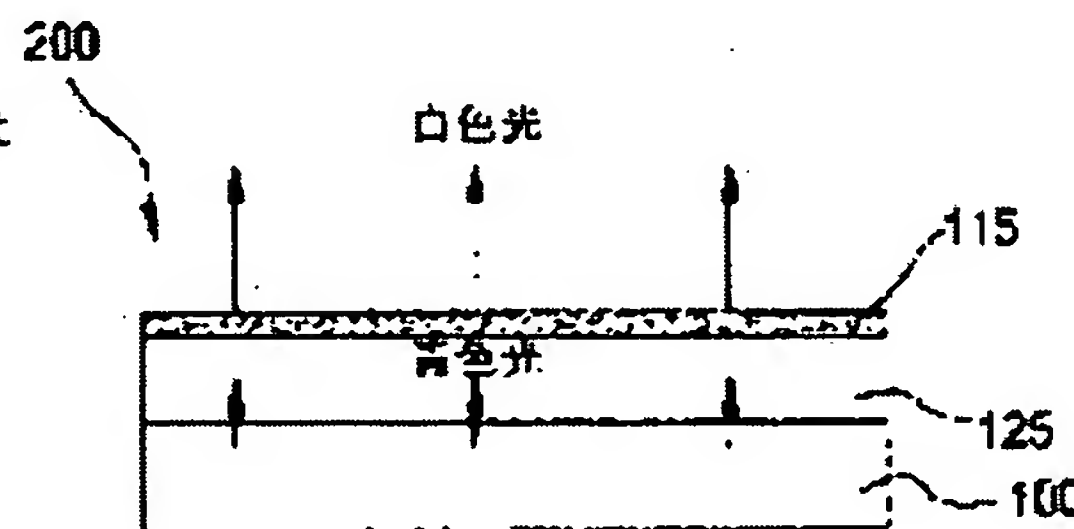
## (54) LIGHT SOURCE PROVIDED WITH ORGANIC LAYER AND PHOTO- LUMINESCENCE LAYER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a light source having an organic layer and a photo-luminescence layer which have good color stability over a long period of time, by improving evenness of an optical output covering the whole surface area.

SOLUTION: The light source containing an organic light emission element which emits the light which has the 1st spectrum, and a fluorescent substance layer which absorbs a part of the light emitted from the organic light emission element and emits the light which has the 2nd spectrum is disclosed. It is usual that a fluorescent substance layer does not absorb all of the light emitted by organic light emission element, and covers the entire organic light emission element. The light emitted by the organic light emission element is mixed with the light emitted by the fluorescent substance layer, and a light which has the 3rd spectrum is obtained by the mixing.

For example, since the fluorescent substance layer is prepared, the light emitted from the organic light emission element is scattered. And then, the evenness of the optical output covering the whole surface area of the light source is improved. Moreover, since many of fluorescent substances are comparatively stable over a long period of time, those light sources have good color stability over a long period of time.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2001-223078

(P2001-223078A)

(43)公開日 平成13年8月17日(2001.8.17)

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マ-ト\* (参考)

H 0 5 B 33/12

H 0 5 B 33/12

E

33/02

33/02

33/14

33/14

A

審査請求 未請求 請求項の数37 O L 外国語出願 (全 34 頁)

(21)出願番号 特願2001-17758(P2001-17758)

(22)出願日 平成13年1月26日(2001.1.26)

(31)優先権主張番号 09/592045

(32)優先日 平成12年6月12日(2000.6.12)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(31)優先権主張番号 60/178451

(32)優先日 平成12年1月27日(2000.1.27)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(31)優先権主張番号 60/194068

(32)優先日 平成12年3月31日(2000.3.31)

(33)優先権主張国 米国 (U S)

(71)出願人 390041542

ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ

GENERAL ELECTRIC CO

MPANY

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、スケネ

クタディ、リバーロード、1番

(72)発明者 アニル・ラジ・ドゥガル

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカ

ユナ、アルゴンクイン・ロード、2322番

(72)発明者 アロク・マニ・スリバスタバ

アメリカ合衆国、ニューヨーク州、ニスカ

ユナ、フィロメナ・ロード、1378番

(74)代理人 100093908

弁理士 松本 研一

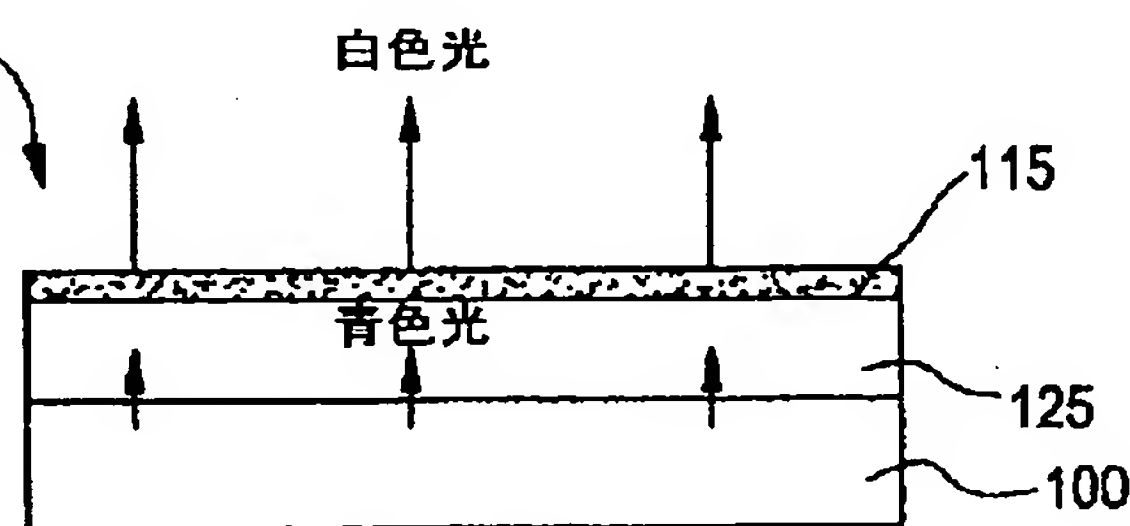
(54)【発明の名称】 有機層及びホトルミネセンス層を有する光源

(57)【要約】

【課題】 有機層及びホトルミネセンス層を有する光源。

【解決手段】 第1のスペクトルを有する光を放出する有機発光素子と、有機発光素子によって放出された光の一部を吸収しかつ第2のスペクトルを有する光を放出する蛍光体層とを含む光源が開示される。蛍光体層は、有機発光素子によって放出された光の全部を吸収しないのが通例であり、また有機発光素子全体を覆うのが通例である。有機発光素子によって放出された光は蛍光体層によって放出された光と混合され、それによって第3のスペクトルを有する光が得られる。本発明の実施例は、公知の素子に比べて利点を有する。たとえば、蛍光体層が設けられているため、有機発光素子から放出された光は散乱を受け、従って光源の全面積にわたる光出力の均一性が改善される。また、多くの蛍光体は長期にわたって比較的安定であるため、かかる光源は長期にわたって良好な色安定性を有する。

200



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 第1のスペクトルを有する光を放出する有機発光素子と、前記有機発光素子によって放出された光の一部を吸収しかつ第2のスペクトルを有する光を放出する蛍光体層とを含んでいて、前記蛍光体層によって吸収される部分の光は前記有機発光素子によって放出された光の全部ではないことを特徴とする光源。

【請求項2】 前記蛍光体層が光を散乱させる離散蛍光体粒子から成る請求項1記載の光源。

【請求項3】 前記蛍光体層が前記蛍光体層中に混入された散乱粒子を更に含む請求項1記載の光源。

【請求項4】 前記蛍光体層から独立した散乱粒子の層を更に含んでいて、前記散乱粒子は前記蛍光体層によって放出された光を散乱させる請求項1記載の光源。

【請求項5】 前記散乱粒子が $\text{TiO}_2$ 及び $\text{SiO}_2$ のうちの少なくとも1種から成る請求項4記載の光源。

【請求項6】 前記有機発光素子によって放出された光が前記蛍光体層によって放出された光と混合されて第3のスペクトルを有する光を生じる請求項1記載の光源。

【請求項7】 第3のスペクトルを有する前記光が白色光である請求項6記載の光源。

【請求項8】 前記白色光が $5500 \sim 6500^\circ \text{K}$ の色温度を有する請求項7記載の光源。

【請求項9】 前記白色光が少なくとも60の演色指数を有する請求項8記載の光源。

【請求項10】 前記白色光が $4500 \sim 5500^\circ \text{K}$ の色温度を有する請求項7記載の光源。

【請求項11】 前記白色光が少なくとも60の演色指数を有する請求項10記載の光源。

【請求項12】 前記白色光が $3000 \sim 4500^\circ \text{K}$ の色温度を有する請求項7記載の光源。

【請求項13】 前記白色光が少なくとも60の演色指数を有する請求項12記載の光源。

【請求項14】 前記有機発光素子が第1の面積を持った発光表面を有し、前記蛍光体層が第2の面積を有し、かつ前記第1の面積が前記第2の面積と一致している請求項1記載の光源。

【請求項15】 前記有機発光素子が発光面を有し、かつ前記蛍光体層が前記有機発光素子の前記発光面全体を覆う請求項1記載の光源。

【請求項16】 第1の波長を有する光を放出する有機発光素子と、前記有機発光素子によって放出された光の一部を吸収しかつ第2の波長を有する光を放出する平面状のホトルミネセンス層とを含んでいて、前記平面状のホトルミネセンス層によって吸収される部分の光は前記有機発光素子によって放出された光の全部ではなく、かつ前記有機発光素子によって放出された光は前記平面状のホトルミネセンス層によって放出された光と混合されて白色光を生じることを特徴とする光源。

【請求項17】 前記平面状のホトルミネセンス層が少

なくとも1種の無機蛍光体から成る請求項16記載の光源。

【請求項18】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が $(\text{Y}_{1-x-y}\text{Gd}_x\text{Ce}_y)_3(\text{Al}_{1-z}\text{Ga}_z)_5\text{O}_{12}$  (式中、 $x+y \leq 1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、かつ $0 \leq z \leq 1$ ) から成る請求項17記載の光源。

【請求項19】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が $(\text{Gd}_{1-x}\text{Ce}_x)\text{Sc}_2\text{Al}_3\text{O}_{12}$  (式中、 $0 \leq x \leq 1$ ) から成る請求項17記載の光源。

【請求項20】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が $\text{SrB}_4\text{O}_7:\text{Sm}^{2+}$ から成る請求項17記載の光源。

【請求項21】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が $\text{SrGa}_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$ から成る請求項17記載の光源。

【請求項22】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が $\text{BaMg}_2\text{Al}_{16}\text{O}_{27}:\text{Eu}^{2+}$ から成る請求項17記載の光源。

【請求項23】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が熱可塑性樹脂シート中に埋込まれている請求項17記載の光源。

【請求項24】 前記有機発光素子が少なくとも9平方センチメートルの面積を持った発光表面を有する請求項16記載の光源。

【請求項25】 第1のスペクトルを有する光を放出する有機発光素子と、前記有機発光素子によって放出された光の一部を吸収しかつ第2のスペクトルを有する光を放出するホトルミネセンス層と、前記ホトルミネセンス層から独立した散乱層とを含んでいて、前記蛍光体層によって吸収される部分の光は前記有機発光素子によって放出された光の全部ではなく、かつ前記散乱層は前記ホトルミネセンス層によって放出された光を散乱させることを特徴とする光源。

【請求項26】 前記ホトルミネセンス層が少なくとも1種の無機蛍光体から成り、かつ前記有機発光素子によって放出された光は前記少なくとも1種の無機蛍光体によって放出された光と混合されて白色光を生じる請求項25記載の光源。

【請求項27】 前記散乱層が $\text{TiO}_2$ 及び $\text{SiO}_2$ 散乱粒子のうちの少なくとも1種から成る請求項25記載の光源。

【請求項28】 前記ホトルミネセンス層が平面状の形態を成して形成され、かつ前記散乱層が前記ホトルミネセンス層に平行な平面状の形態を成して形成される請求項25記載の光源。

【請求項29】 有機発光素子を形成する工程と、前記有機発光素子上にホトルミネセンス材料の層を形成する工程とを含む、前記ホトルミネセンス材料の層は前記有機発光素子によって放出された光の全部を吸収することではなく、かつ前記有機発光素子によって放出された光は前記ホトルミネセンス材料によって放出された光と混合されて白色光を生じることを特徴とする照明装置の製造



方法。

【請求項30】 前記ホトルミネセンス材料が少なくとも1種の無機蛍光体から成る請求項29記載の方法。

【請求項31】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が前記有機発光素子の発光表面に平行な平面状の形態を成して形成される請求項30記載の方法。

【請求項32】 前記少なくとも1種の無機蛍光体が熱可塑性樹脂から成る平面状シート中にカプセル封入される請求項31記載の方法。

【請求項33】 前記ホトルミネセンス材料の層から独立した散乱層を前記ホトルミネセンス材料の層上に形成する工程を更に含む請求項29記載の方法。

【請求項34】 前記散乱層が前記ホトルミネセンス材料の層に平行な平面状の形態を成して形成される請求項33記載の方法。

【請求項35】 前記白色光の色温度が5500～6500°Kになるように前記ホトルミネセンス材料を選択する工程を更に含む請求項29記載の方法。

【請求項36】 前記白色光の色温度が4500～5500°Kになるように前記ホトルミネセンス材料を選択する工程を更に含む請求項29記載の方法。

【請求項37】 前記白色光の色温度が3000～4500°Kになるように前記ホトルミネセンス材料を選択する工程を更に含む請求項29記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の分野】 本発明は照明用途に関するものであって、更に詳しく言えば、有機発光素子と比較的大きい面積を有し得るホトルミネセンス材料の層とを組合わせて成る光源に関する。

【0002】

【関連技術の説明】 無機発光ダイオード(LED)又は有機発光素子(OLED)を含む照明装置の例は数多く存在する。1つの実例は商業的に入手可能な青色無機窒化ガリウム(GaN)LEDであって、これを蛍光体粒子で被覆すれば白色光が得られる。これらのLEDは本質的に点光源であって、拡大光源ではない。

【0003】 OLEDの実例は米国特許第5294870号明細書中に開示されているが、そこには青色光を放出する有機エレクトロルミネセンス光源と相異なるサブピクセル領域に設置された緑色及び赤色発光蛍光材料とから成る有機エレクトロルミネセンス多色表示素子が記載されている。この素子は、緑色及び赤色発光蛍光材料による色移動の結果として、相異なるサブピクセル領域から相異なる色の光を放出する。

【0004】 OLEDの別の実例は、サイエンス(Science)の第267巻(1995年)の1332～1334頁に収載されたジュンジ・キド(Junji Kido)等の論文「多層白色発光有機エレクトロルミネセンス素子」中に記載されている。この素子は相異なるキャリア輸送特性

を有しかつ青色光、緑色光及び赤色光をそれぞれ放出する3つのエミッタ層を含んでいて、これらの層を使用することによって白色光が生み出される。しかるに、この素子においては、相異なる色の光を放出する層は時間の経過と共に相異なる速度で劣化するのが通例である。その結果、素子の色は時間の経過と共に変化する傾向がある。その上、素子の発光面全体にわたる光出力の一様性も望ましくない場合がある。

【0005】

【発明の概要】 本発明の一側面に係わる光源は、第1のスペクトルを有する光を放出する有機発光素子と、前記有機発光素子によって放出された光の一部を吸収しかつ第2のスペクトルを有する光を放出するホトルミネセンス材料の層とを含んでいる。無機蛍光体から成り得るホトルミネセンス材料の層は、有機発光素子によって放出された光の全部を吸収しないのが通例である。有機発光素子によって放出された光はホトルミネセンス材料によって放出された光と混合され、それによって第3のスペクトルを有する光が得られる。

【0006】 本発明の実施例は、公知の素子に比べて利点を有する。たとえば、ホトルミネセンス材料として蛍光体が使用されれば、有機発光素子から放出された光は散乱を受け、従って光源の全面積にわたる光出力の一様性が改善される。また、多くの蛍光体は長期にわたって比較的安定であるため、本発明の実施例に係わる光源は長期にわたって良好な色安定性を有する。

【0007】 本発明のその他の特徴及び利点は、添付の図面を参照しながら好適な実施の態様に関する以下の詳細な説明を読むことによって自ずから明らかとなる。

【0008】

【好適な実施の態様の詳細な説明】 一般的な照明用途にとっては、高い演色指数(CRI)及び3000～6500°Kの範囲内の色温度を有する薄くて平坦かつ安価な拡大白色光源が得られれば望ましい場合が多い。

【0009】 光源の色温度とは、問題の光源に最も近い色整合を示す黒体光源の温度を指す。色整合は、通常のCIE(国際照明委員会)色度図上に図示されかつ比較されるのが通例である。たとえば、ロバート・エイ・マイヤーズ(Robert A. Meyers)編「エンサイクロペディア・オブ・フィジカル・サイエンス・アンド・テクノロジー(Encyclopedia of Physical Science and Technology)」第7巻(1987年)の230～231頁を参照されたい。一般に、色温度が上昇するほど、光は青みが増す。また、色温度が低下するほど、光は赤みが増すように見える。

【0010】 演色指数(CRI)は、標準光源と比較しながら問題の光源を用いて測定した場合における1組の標準色素の見掛けの色の狂いの程度を示す尺度である。CRIは、標準光源と比較した場合、問題の光源によって生じた色ずれ(たとえば、三刺激値によって定量化さ

れた色ずれ)を計算することによって求めることができる。通例、5000°Kより低い色温度に対しては、使用される標準光源は適当な温度の黒体である。5000°Kより高い色温度に対しては、太陽光が標準光源として通例使用される。比較的連続した出力スペクトルを有する光源(たとえば、白熱電球)は、高いCRI(たとえば、100又はその付近のCRI)を有するのが通例である。多重線出力スペクトルを有する光源(たとえば、高圧放電灯)は、約50~80の範囲内のCRIを有するのが通例である。また、蛍光灯は約60より高いCRIを有するのが通例である。

【0011】本発明の実施の態様に係る光源は、青色又は紫外(UV)スペクトル領域内の光を放出する有機発光素子と、蛍光体粒子のごときホトルミネセンス材料の被膜とを組合わせたものから成っている。ホトルミネセンス材料(たとえば、蛍光体粒子)は、有機発光素子から放出される青色光又は紫外光を吸収してより長い波長の光を再放出するように選択されるのが通例である。蛍光体粒子の粒度は、蛍光体から再放出される光を蛍光体により吸収されない青色光又は紫外光と効果的に混合し、そして光源から放出される光の最終色を均質にする良好な色の混合をもたらすのに十分な光の散乱を可能にするように選定されるのが通例である。更にまた、蛍光体粒子の吸収及び発光スペクトル特性及び強度は、非吸収光と蛍光体放出光とから成る組合せスペクトルがたとえば3000~6500°Kの範囲内の色温度及び60より高いCRIを有する白色光を生じるように選定されるのが通例である。

【0012】図9は、典型的な有機発光素子の構造を示している。有機発光素子100は、2つの電極(たとえば、陰極120及び陽極130)の間に配置された有機発光層110を含んでいる。有機発光層110は、陽極及び陰極の間に電圧を印加すると光を放出する。「有機発光素子」という用語は、一般に、有機発光層、陰極及び陽極の組合せを指す。有機発光素子100は、図9に示されるごとく、ガラス又は透明なプラスチック(たとえば、PET(マイラ(MYLAR))、ポリカーボネートなど)のごとき基板125上に形成することができる。

【0013】陽極及び陰極が有機発光層110中に電荷キャリア(すなわち、正孔及び電子)を注入すると、それらは再結合して励起分子又は励起子を生成する。かかる分子又は励起子が消滅する時に光が放出される。かかる分子によって放出される光の色は、分子又は励起子の励起状態と基底状態とのエネルギー差に依存する。通例、印加電圧は約3~10ボルトであるが、30ボルト又はそれ以上にも達し得る。また、外部量子効率(放出光子/入射電子)は0.01~5%の範囲内にあるが、10%、20%、30%又はそれ以上にも達し得る。有機発光層110は約50~500ナノメートルの厚さを有するのが通例であり、また電極120及び130の各

々は約100~1000ナノメートルの厚さを有するのが通例である。

【0014】陰極120は、一般に、比較的低い電圧で陰極から電子が放出されるように小さい仕事関数値を有する材料から成っている。陰極120は、たとえば、カルシウムあるいは金、インジウム、マンガン、スズ、鉛、アルミニウム、銀、マグネシウム又はマグネシウム/銀合金のごとき金属から成り得る。あるいはまた、電子注入を向上させるために陰極を2つの層から構成することもできる。その実例としては、LiFの薄い内層の上にアルミニウム又は銀のより厚い外層を設置したもの、あるいはカルシウムの薄い内層の上にアルミニウム又は銀のより厚い外層を設置したものが挙げられる。

【0015】陽極130は、大きい仕事関数値を有する材料から成るのが通例である。陽極130は、有機発光層110内で生じた光が有機発光素子100の外部に放出され得るように透明であることが好ましい。陽極130は、たとえば、酸化インジウムスズ(ITO)、酸化スズ、ニッケル又は金属から成り得る。電極120及び130は、たとえば真空蒸着やスパッタリングのごとき通常の蒸着技術によって形成することができる。

【0016】本発明の実施の態様においては、各種の有機発光層110を使用することができる。図9に示された実施の一態様に従えば、有機発光層110は単一の層から成る。有機発光層110は、たとえば、ルミネセンスを示す共役重合体、電子輸送分子及び発光材料を添加した正孔輸送重合体、並びに正孔輸送分子及び発光材料を添加した不活性重合体から成り得る。

【0017】図10~13に示された本発明のその他の実施の態様に従えば、有機発光層110は正孔注入、正孔輸送、電子注入、電子輸送及びルミネセンスの機能を果たす2つ以上の二次層から成る。機能する素子を得るために必要なのは発光層のみである。とは言え、追加の二次層は一般に正孔及び電子が再結合して光を生じるための効率を向上させる。従って有機発光層110は、たとえば、正孔注入用二次層、正孔輸送用二次層、発光用二次層及び電子注入用二次層を含む1~4の二次層から成り得る。また、1つ以上の二次層は正孔注入、正孔輸送、電子注入、電子輸送及びルミネセンスのごとき1つ以上の機能を達成する材料から成り得る。

【0018】以下、図9に示されるごとくに有機発光層110が単一の層から成るような実施の態様について説明を行う。

【0019】実施の一態様に従えば、有機発光層110は共役重合体から成る。「共役重合体」という用語は、重合体の主鎖に沿って非局在化 $\pi$ 電子系を含む重合体を意味する。かかる非局在化 $\pi$ 電子系は重合体に半導電性を付与し、それにより重合体主鎖に沿って高い移動度で正及び負電荷キャリアを支持する能力を付与する。かかる重合体膜は、電極間に電界を印加した場合に重合体中



に電荷キャリアが注入されて重合体から光が放出されるようにするため、十分に低い濃度の外来電荷キャリアを有している。共役重合体は、たとえば、ジャーナル・オブ・モレキュラー・エレクトロニクス(Journal of Molecular Electronics)の第4巻(1988年)の37~46頁に収載されたアール・エッチ・フレンド(R.H. Friend)の論文中に記載されている。

【0020】適当な共役重合体の实例としては、2, 7-置換-9-置換フルオレン並びに9-置換フルオレン低重合体及び重合体のごときポリフルオレン類が挙げられる。ポリフルオレン類は、一般に、良好な熱安定性及び化学安定性並びに高い固体蛍光量子収量を有している。かかるフルオレン類、低重合体及び重合体の9位置は、1個以上の硫黄、窒素、酸素、リン又はケイ素ヘテロ原子を有し得る2個のヒドロカルビル基、フルオレン環上の9-炭素を用いて形成されたC<sub>5-20</sub>環構造又は1個以上の硫黄、窒素若しくは酸素ヘテロ原子を含有しながら9-炭素を用いて形成されたC<sub>4-20</sub>環構造、あるいはヒドロカルビリデン基で置換されていてもよい。更にまた、実施の一態様に従えば、フルオレンの2及び7位置はアリール基で置換されると共に、該アリール基は架橋又は連鎖延長の可能な基あるいはトリアルキルシロキシ基で置換されていてもよい。フルオレン重合体及び低重合体においては、2及び7'位置が置換されていてもよい。フルオレン低重合体及び重合体の単量体単位は、2及び7'位置において互いに結合している。2, 7'-アリール-9-置換フルオレン低重合体及び重合体同士を更に反応させれば、末端の2, 7'-アリール基上に位置する(架橋又は連鎖延長の可能な)随意の基が連鎖延長又は架橋を受けることによって更に高分子量の重合体を生成させることができる。

【0021】上記のごときフルオレン類及びフルオレン低重合体又は重合体は、通常の有機溶剤中に容易に溶解し得る。それらは、回転塗布、吹付塗り、漬け塗り及びローラ塗りのごとき通常の技術によって薄膜又は被膜に加工することができる。硬化後には、かかる膜は通常の有機溶剤に対する抵抗性及び高い耐熱性を示す。かかるポリフルオレン類に関する追加の情報は米国特許第5708130号明細書中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。

【0022】本発明の実施の態様に従って使用し得るその他の適当なポリフルオレン類としては、青色の電クロルミネセンスを示すポリ(フルオレン)共重合体[たとえば、ポリ(フルオレン-アントラセン)]が挙げられる。これらの共重合体は、2, 7-ジプロモ-9, 9-ジ-*n*-ヘキシルフルオレン(DHF)のごときポリフルオレンサブユニットと、9, 10-ジプロモアントラセン(ANT)のごとき別のサブユニットとを含んでいる。DHF及びANTから成る高分子量の共重合体は、ニッケルを媒介として対応するアリールプロミ

ドを共重合させることによって調製することができる。最終重合体の分子量は、重合の様々な段階において末端キャッピング用試薬である2-ブロモフルオレンを添加することによって制御することができる。かかる共重合体は、400℃を越える分解温度によって示されるごとくに熱安定性を有し、かつテトラヒドロフラン(THF)、クロロホルム、キシレン及びクロロベンゼンのごとき通常の有機溶剤中に可溶である。それらは約455nmの波長を有する青色の光を放出する。かかるポリフルオレン類に関する追加の情報は、アドバンスト・マテリアルズ(Adv. Mater.)の第10巻(1998年)の993~997頁に収載されたグリット・クラナー(Gerit Klarner)等の論文「ジ-*n*-ヘキシルフルオレン及びアントラセンから誘導された色彩堅牢性の青色発光ランダム共重合体」中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。

【0023】図1.0に示された本発明の別の実施の態様に従えば、有機発光層110は2つの二次層から成っている。第1の二次層11は正孔輸送特性、電子輸送特性及び発光特性を示すものであって、陰極120に隣接して配置される。第2の二次層12は正孔注入用二次層として役立つものであって、陰極130に隣接して配置される。第1の二次層11は、電子輸送分子及び発光材料(たとえば、染料又は重合体)を添加した正孔輸送重合体から成る。正孔輸送重合体は、たとえばポリ(N-ビニルカルバゾール)(PVK)から成り得る。電子輸送分子は、たとえば2-(4-ビフェニル)-5-(4-tert-ブチルフェニル)-1, 3, 4-オキサジアゾール(PBD)から成り得る。発光材料は、発光色を変化させるための発光中心として役立つ小さな分子又は重合体から成るのが通例である。たとえば、発光材料は青色発光を示す有機染料であるクマリン460から成る。これらの混合物の薄膜を形成するためには、様々な量のPVK、電子輸送分子及び発光材料を含有するクロロホルム溶液を回転塗布すればよい。たとえば、適当な混合物は100重量%のPVK、40重量%のPBD、及び0.2~1.0重量%の有機染料から成る。

【0024】第2の二次層12は正孔注入用二次層として役立つものであって、たとえばバイエル・コーポレーション(Bayer Corporation)から入手可能なポリ(3, 4)エチレンジオキシチオフェン/ポリスチレンスルホネート(PEDT/PS)から成り得る。この材料は、回転塗布のごとき通常の方法によって設置することができる。電子輸送分子及び発光材料を添加した正孔輸送重合体に関する追加の情報は、IEEE・トランザクションズ・オン・エレクトロン・デバイス(IEEE Trans. on Elec. Devices)の第44巻(1997年)の1269~1281頁に収載されたチュン・チー・ウー(Chung-Chih Wu)等の論文「二極性キャリア輸送能力を有する単一層のドーパ重合体薄膜を使用した効率的な有機エ

「エレクトロルミネセンス素子」中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。

【0025】図11に示された本発明の別の実施の態様に従えば、有機発光層110は発光性二次層から成る第1の二次層13と正孔輸送用二次層から成る第2の二次層14とを含んでいる。正孔輸送用二次層14は、たとえば容易かつ可逆的に酸化可能な芳香族アミンから成り得る。かかる発光性二次層及び正孔輸送用二次層の一例は、アプライド・フィジックス・レターズ(Appl. Phys. Letters)の第73巻(1998年)の629~631頁にエイ・ダブリュー・グライス(A. W. Grice)等の論文「青色発光重合体ダイオードの高い輝度及び効率」中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。この論文中に記載された素子は、ITO電極とカルシウム電極との間に挟まれた2つの重合体層を含んでいる。ITO電極に隣接した重合体層は正孔輸送層であって、重合トリフェニルジアミン誘導体(ポリTPD)から成っている。カルシウム電極に隣接した青色発光重合体層は、ポリ(9,9-ジオクチルフルオレン)である。

【0026】図12に示された本発明の別の実施の態様に従えば、有機発光層110は発光特性及び正孔輸送特性を示す第1の二次層15と電子注入特性を示す第2の二次層16とから成っている。第1の二次層15はポリシランから成り、また第2の二次層16はオキサジアゾール化合物から成る。このような構造は紫外(UV)光を生み出す。

【0027】ポリシランは、各種のアルキル及び(又は)アリール側基で置換された線状のケイ素(Si)主鎖から成る重合体である。 $\pi$ 共役重合体と異なり、ポリシランは重合体の主鎖に沿って非局在化 $\sigma$ 共役電子を有する準一次元系の材料である。一次元的なダイレクトギャップ特性を有するため、ポリシランは紫外域において高い量子効率を有する鮮鋭なホトルミネセンスを示す。適当なポリシランの実例としては、ポリ(ジ-n-ブチルシラン)(PDBS)、ポリ(ジ-n-ペンチルシラン)(PDPS)、ポリ(ジ-n-ヘキシルシラン)(PDHS)、ポリ(メチルフェニルシラン)(PMP S)及びポリ[ビス(p-ブチルフェニル)シラン](PBPS)が挙げられる。ポリシラン二次層15は、たとえばトルエン溶液から回転塗布によって形成することができる。電子注入用二次層16は、たとえば2,5-ビス(4-ビフェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(BBD)から成り得る。UV発光性ポリシラン有機発光層に関する追加の情報は、シン・ソリッド・フィルムズ(Thin Solid Films)の第331巻(1998年)の64~70頁に収載されたヒロユキ・スズキ(HiroYuki Suzuki)等の論文「ポリシランからの近紫外エレクトロルミネセンス」中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。

【0028】図13に示された本発明の別の実施の態様に従えば、有機発光層110は正孔注入用二次層17、正孔輸送用二次層18、及び電子注入用二次層20から成っている。正孔注入用二次層17及び正孔輸送用二次層18は、再結合領域に正孔を効率的に供給する。電子注入用二次層20は、再結合領域に電子を効率的に供給する。

【0029】正孔注入用二次層17は、たとえば無金属フタロシアニン又は含金属フタロシアニンのときボルフィリン化合物から成り得る。正孔輸送用二次層18は、正孔輸送性の芳香族第三級アミンから成り得る。ここで言う芳香族第三級アミンとは、炭素原子にのみ結合された少なくとも1個の3価窒素原子を含有すると共に、それらの炭素原子の少なくとも1個が芳香族環の構成員であるような化合物を指す。発光性二次層19は、たとえば、青色の波長において発光する混合配位子アルミニウムキレートから成り得る。その実例はビス(R-8-キノリノラト)(フェノラト)アルミニウム(III)キレートであって、この場合のRはアルミニウム原子に3個以上の8-キノリノラト配位子が結合するのを阻止するために選ばれた8-キノリノラト核の環状置換基である。電子注入用二次層20は、アルミニウムのトリスキレートのごとき金属オキシノイド電荷受容性化合物から成り得る。かかる4層材料及び素子に関する追加の情報は米国特許第5294870号明細書中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。

【0030】有機発光層110の上記の実例は、1種以上の所望の色を有する光を放出する発光素子を設計するために使用することができる。たとえば、発光素子135は青色光と共に紫外光を放出することができる。その他の色(たとえば、赤や緑)を生み出すこともできるが、白色光を生み出すためにはあまり望ましくない。

【0031】次に図1を見ると、本発明の実施の一態様に係る光源200が示されている。ここで言う「光源」とは、有機発光素子100をホトルミネセンス層と組合わせたものを一般的に意味する。図1に示されるごとく、蛍光体粒子は透明な基板125上にホトルミネセンス層115として配置されている。有機発光素子100から放出された光の一部は蛍光体粒子によって吸収され、そしてより長い波長の光として再放出される。蛍光体粒子層115中における散乱により、より長い波長の光は吸収されない青色光又は紫外光と混合される結果、均質な白色光が放出される。通例、蛍光体粒子層115は有機発光素子100によって放出された光の約30~90%を吸収する。この割合は、一般に、有機発光素子及び蛍光体のスペクトル、蛍光体の量子効率、並びに所望の色に基づいて選定される。

【0032】図2は、本発明の別の実施の態様に係る光源300を示している。この場合、蛍光体粒子は透明



又は部分的に透明な基板125中に添加され、そしてその上に有機発光素子100が形成される。蛍光体粒子を添加し得る基板材料としては、ガラス及び透明なプラスチック〔PET（マイラ）、ポリカーボネート及びその他の熱可塑性材料〕が挙げられる。

【0033】図1及び2に示された実施の態様のいずれについても、光源の発光面全体にわたって色の混合及び輝度の一様性を向上させるため、 $TiO_2$  又は  $SiO_2$  粒子のごとき散乱粒子を蛍光体粉末混合物中に添加することができる。更にまた、図3は本発明の更に別の実施の態様に係る光源400を示している。この場合には、色の混合を更に向上させるため、蛍光体粒子層125の上方に独立の散乱粒子層135が設けられている。

【0034】通例、有機発光素子100の発光面積は図1～3に示されるごとくに蛍光体層の面積及び散乱粒子層の面積とほぼ一致している。たとえば、有機発光素子100の発光面は3cm×3cm平方であり得るが、蛍光体層及び散乱粒子層は形状及び面積の点でそれとほぼ同じ広がり（たとえば、有機発光素子の発光面積の75～125%）を有していればよい。通例、有機発光素子100の発光面、蛍光体層及び散乱粒子層はいずれも図1～3に示されるごとくに平行な平面状のものである。なお、蛍光体層の面積は有機発光素子の発光面積と少なくとも同じ大きさを有するのが通例である。

【0035】以下の実施例は、本発明の実施の態様に従って使用し得る青色の有機発光素子100を例示するものである。

#### 【0036】

【実施例】下記のごとくにして青色発光の有機発光素子を作製した。アプライド・フィルムズ・コーポレーション(Applied Films Corporation) から酸化インジウムスズ(ITO)で被覆されたガラス(15オーム平方)を入手し、そして王水の蒸気を用いてその一部にエッチングを施した。その後、洗剤を用いてこの基板を機械的に洗浄し、メタノール溶液次いで沸騰イソプロピルアルコール溶液中に浸漬し、そして最終的にオゾンクリーナ内で5分間にわたり処理した。次に、バイエル・コーポレーションから入手したポリ(3,4)エチレンジオキシチオフェン/ポリスチレンスルホネート(PEDT/PSS)の厚さ5ナノメートル(nm)の層をITO上に回転塗布した。次に、ジクロロエタンを溶媒として使用しながら、オールドリッチ社(Aldrich Co.) から入手したポリ(9-ビニルカルバゾール)(PVK)、オールドリッチ社から入手した2-(4-ビフェニル)-5-(4-tert-フェニル)-1,3,4-オキサジアゾール(PBD)、及びエクサイトン社(Exciton Co.) から入手した7-ジエチルアミノ-4-メチルクマリン(クマリン460)を100:40:1の重量比で混合して成る約100nmのポリマーブレンドをPEDT層上に回転塗布した。次に、陰極パターンを規定するため

のシャドウマスクを通して、約0.8nmのフッ化リチウム層及び約100nmのアルミニウムから成る陰極を素子上に蒸着した。その後、素子をグローブボックス内に移し、そして素子の陰極側にエポキシ樹脂でスライドガラスを固定することによってカプセル封入成形を行った。こうして得られた素子は、電圧を印加すると青色光を放出した。この素子に関する青色の発光スペクトルを図4に示す。

【0037】上記のごとく、本発明の光源は有機発光層からの光を吸収して通例はより長い波長を有する光を放出するホトルミネセンス材料の層を含んでいる。かかるホトルミネセンス材料は無機蛍光体から成るのが通例であるが、有機染料のごとき有機ホトルミネセンス材料から成っていてもよい。本発明の実施の態様に従えば、蛍光体材料は有機発光素子100からの青色光を吸収し、そしてより低い波長の光を再放出する。その結果、3000～6500°Kの範囲内の色温度が良好な演色性と共に得られることになる。

【0038】使用し得る蛍光体材料の実例としては、ガーネット型構造を成して結晶化する $Y_3Al_5O_{12}$  (YAG)格子中に添加されたセリウムに基づく蛍光体が挙げられる。具体例としては、 $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3Al_5O_{12}$  (YAG:Gd, Ce)、 $(Y_{1-x}Ce_x)_3Al_5O_{12}$  (YAG:Ce)、 $(Y_{1-x}Ce_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$  (YAG:Ga, Ce)、 $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3(Al_{1-z}Ga_z)_5O_{12}$  (YAG:Gd, Ga, Ce) 及び  $(Gd_{1-x}Ce_x)Sc_2Al_3O_{12}$  (GSAG) が挙げられる。かかるYAG蛍光体は、一般に  $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3(Al_{1-z}Ga_z)_5O_{12}$  (式中、 $x+y \leq 1$ 、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、かつ  $0 \leq z \leq 1$  である) として記述することができる。発光バンドのピークの位置は、上記の蛍光体に伴って大幅に変化する。ガーネット型組成に応じ、 $Ce^{3+}$  発光はルミネセンス効率の顕著な低下なしに緑色(～540nm、YAG:Ga, Ce)から赤色

(～600nm、YAG:Gd, Ce)にまで調整することができる。従って、有機発光素子100から放出される可視光(青色光)と共に適当な蛍光体材料又は蛍光体材料ブレンドを使用すれば、広範囲の色温度に対応した白色の視界を生み出すことができる。すなわち、かかる蛍光体及び有機発光素子を使用することにより、通常の蛍光灯に極めて近似した色、CRI及び輝度を有する大面積の白色光エレクトロルミネセンスパネル状の光源を作製することができる。色温度及びCRIの適当な組合せの実例としては、3000～4500°Kの色温度と少なくとも60又は70あるいはそれ以上のCRIとの組合せ、4500～5500°Kの色温度と少なくとも60又は70あるいはそれ以上のCRIとの組合せ、及び5500～6500°Kの色温度と少なくとも60又は70あるいはそれ以上のCRIとの組合せが挙げられる。

【0039】図5は、 $(Y_{0.97}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ の組成を有するYAG:Ceの励起スペクトル(点線)及び発光スペクトル(実線)を示すグラフである。(有機発光素子及び蛍光体から成る)光源についての出力スペクトルは、青色発光の有機発光素子及び蛍光体の個々のスペクトルを合算することによって推定することができる。図6は、(1)上記の実施例に従って作製された有機発光素子(PVK:PBD:クマリン460)と、(2)YAG:Ce蛍光体とから成る光源に関し、蛍光体スペクトルに対する青色スペクトルの積分強度の相対比率を約3とした場合の推定スペクトルの実例を示している。図6に示されたスペクトルから、当業界において公知の方法によって相間関係にある色温度及びCRIを求めることができる。詳しくは、たとえば、グンター・ワイチエッキー及びダブリュー・エス・スタイルズ(Gunter Wyszecki & W.S. Stiles)著「カラー・サイエンス:コンセプト・アンド・メソーズ、クオンティタティブ・データ・アンド・フォーミュラー(Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae)」(ジョン・ワイリー・アンド・サンズ社、1982年)を参照されたい。かかる公知の方法によれば、図6のスペクトルに関し、相間関係にある色温度及びCRIはそれぞれ6200°K及び75であることが求められた。

【0040】一般に、相異なる用途に対しては、相異なる色温度が所望されることがある。同じ有機発光素子及び蛍光体材料の組合せを使用しながらも、放出される青色光と蛍光体から放出される光との相対比率を変えることによって相異なる色温度を得ることができる。この比率を変えるためには、たとえば、蛍光体層の厚さを調整すればよい。

【0041】あるいはまた、異なる有機発光素子/蛍光体材料系を使用することもできる。たとえば、図7はYAG:Ce蛍光体を式 $(Y_{0.77}Gd_{0.2}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ で表わされるYAG:Gd, Ce蛍光体に変えた場合について計算された発光スペクトルを示している。有機発光素子は図6の場合と同じであった(PVK:PBD:クマリン460)。こうして得られる色温度及びCRIは、それぞれ5000°K及び74であることが計算によって求められた。

【0042】図8は、YAG:Ce蛍光体を式 $(Y_{0.37}Gd_{0.6}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ で表わされるYAG:Gd, Ce蛍光体に変えた場合について計算された発光スペクトルを示している。有機発光素子は図6の場合と同じであった(PVK:PBD:クマリン460)。こうして得られる色温度及びCRIは、それぞれ3100°K及び68であることが計算によって求められた。これらの計算結果は、かかる有機発光素子/蛍光体系中における蛍光体の組成を変えること(この場合には、YAG:Gd, Ce蛍光体中におけるGdの相対量を変えること)により、一定範囲(たとえば、3000~650

0°K)の色温度及び高いCRI(たとえば、60又は70より高いCRI)を達成し得ることを示している。

【0043】更にまた、2種以上の蛍光体材料を組合わせて青色の有機発光素子と共に使用することにより、様々な色、色温度及び演色指数を達成することもできる。使用し得るその他の蛍光体は、アニール・デュガル及びアローグ・スリヴァスタヴァ(Anil Duggal & Alok Srivastava)の名義で1999年12月22日に提出された、「発光性表示装置及び製造方法」と称する米国特許出願第09/469702号明細書中に記載されているが、その内容は引用によって本明細書中に組込まれる。適当な赤色発光無機蛍光体の実例は $SrB_4O_7:Sm^{2+}$ であって、式中においてコロンの続く $Sm^{2+}$ は賦活剤を表わしている。この蛍光体は、600nmより短い波長の可視光の大部分を吸収し、そして650nmより長い波長を有する濃赤色の線として光を放出する。適当な緑色発光無機蛍光体の実例は $SrGa_2S_4:Eu^{2+}$ である。この蛍光体は、500nmより短い波長の光を吸収し、そして535nmに最大発光ピークを有している。適当な青色発光無機蛍光体の実例は $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$ である。 $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$ は、430nmより短い波長の光の大部分を吸収し、そして450nmに最大発光ピークを有している。ホトルミネセンス層中において使用し得る有機染料の実例としては、クマリン460(青色)、クマリン6(緑色)及びナイルレッドが挙げられる。

【0044】上記に開示された実施の態様を考察すれば、本発明のその他の実施の態様は当業者にとって自ずから明らかとなろう。なお、本明細書中の詳細な説明及び実施例は単に例示的なものと見なすべきであって、本発明の範囲及び精神は前記特許請求の範囲によって規定されることを理解すべきである。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の態様に係る光源を示す断面図である。

【図2】本発明の第2の実施の態様に係る光源を示す断面図である。

【図3】本発明の第3の実施の態様に係る光源を示す断面図である。

【図4】本発明の実施の一態様に係る有機発光素子のエレクトロルミネセンススペクトルを示すグラフである。

【図5】本発明の実施の一態様に係るYAG:Ce蛍光体の励起スペクトル及び発光スペクトルを示すグラフである。

【図6】青色有機発光素子及び蛍光体の計算された発光スペクトルを示すグラフである。

【図7】青色有機発光素子及び蛍光体の計算された発光スペクトルを示すグラフである。

【図8】青色有機発光素子及び蛍光体の計算された発光

スペクトルを示すグラフである。

【図9】本発明の実施の一態様に係る有機発光素子を示す断面図である。

【図10】2つ以上の二次層から成る有機発光層の一例を示す断面図である。

【図11】2つ以上の二次層から成る有機発光層の一例を示す断面図である。

【図12】2つ以上の二次層から成る有機発光層の一例を示す断面図である。

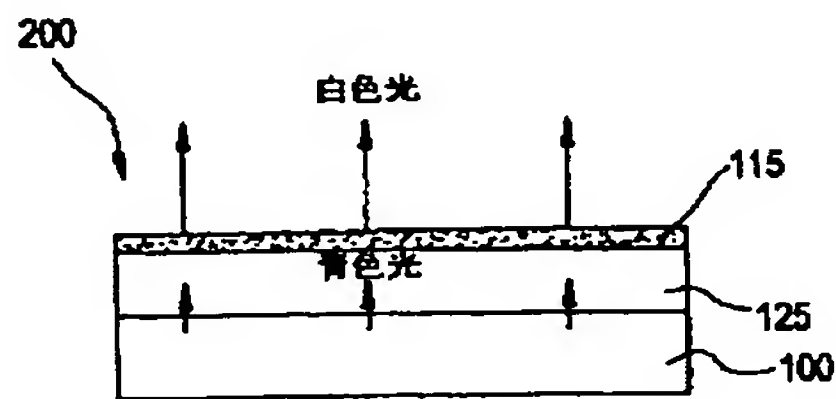
【図13】2つ以上の二次層から成る有機発光層の一例を示す断面図である。

【符号の説明】

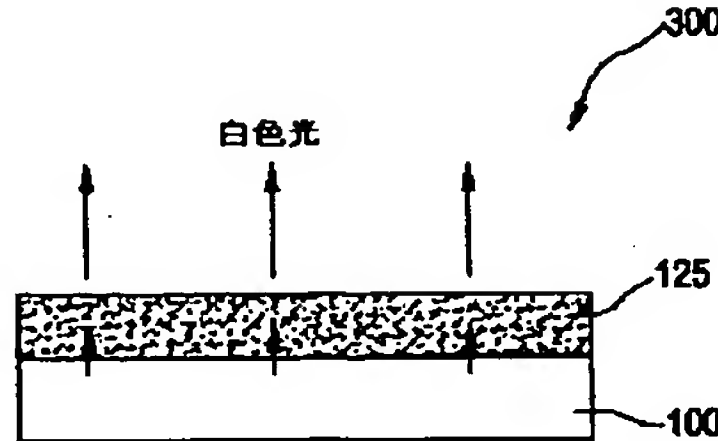
- 11 第1の二次層
- 12 第2の二次層
- 13 第1の二次層

- 14 第2の二次層
- 15 第1の二次層
- 16 第2の二次層
- 17 正孔注入用二次層
- 18 正孔輸送用二次層
- 19 発光性二次層
- 20 電子注入用二次層
- 100 有機発光素子
- 110 有機発光層
- 115 ホトルミネセンス層又は蛍光体層
- 120 陰極
- 125 基板
- 130 陽極
- 135 散乱粒子層

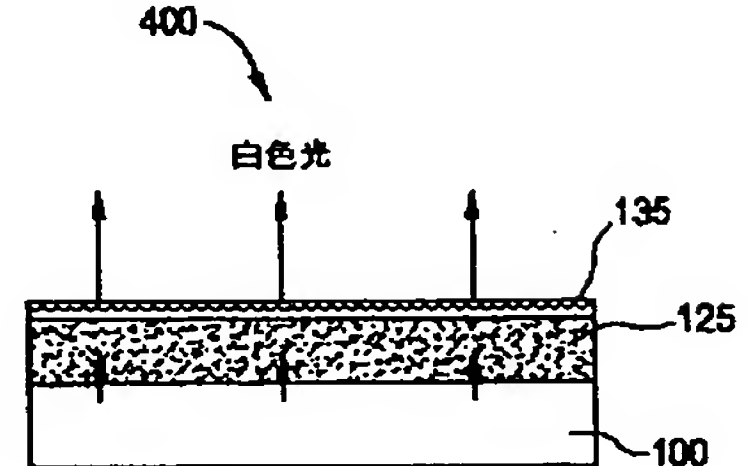
【図1】



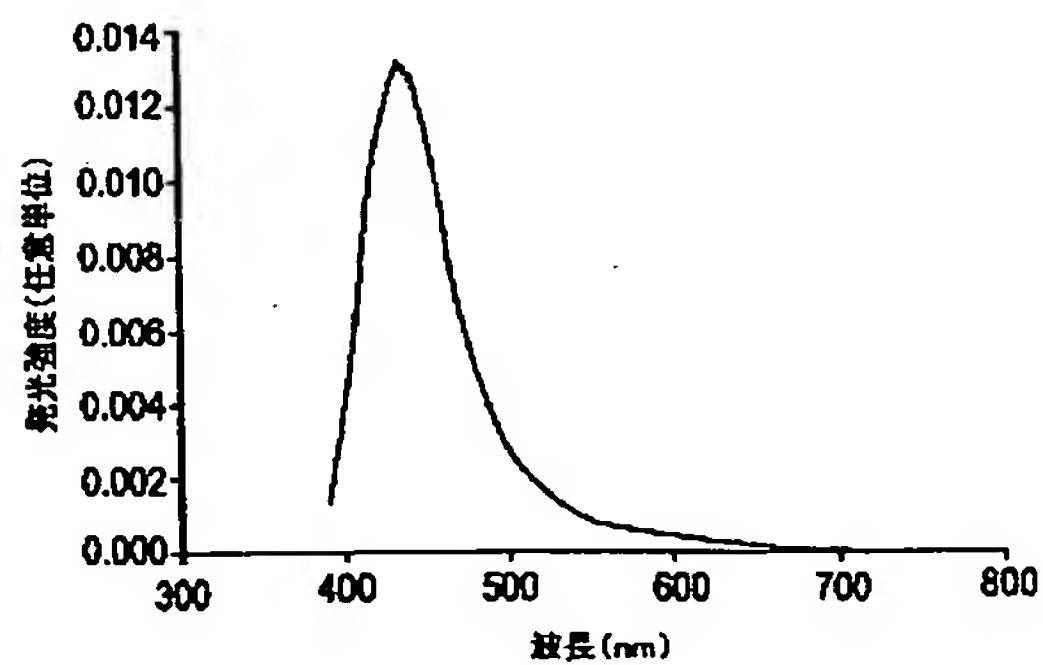
【図2】



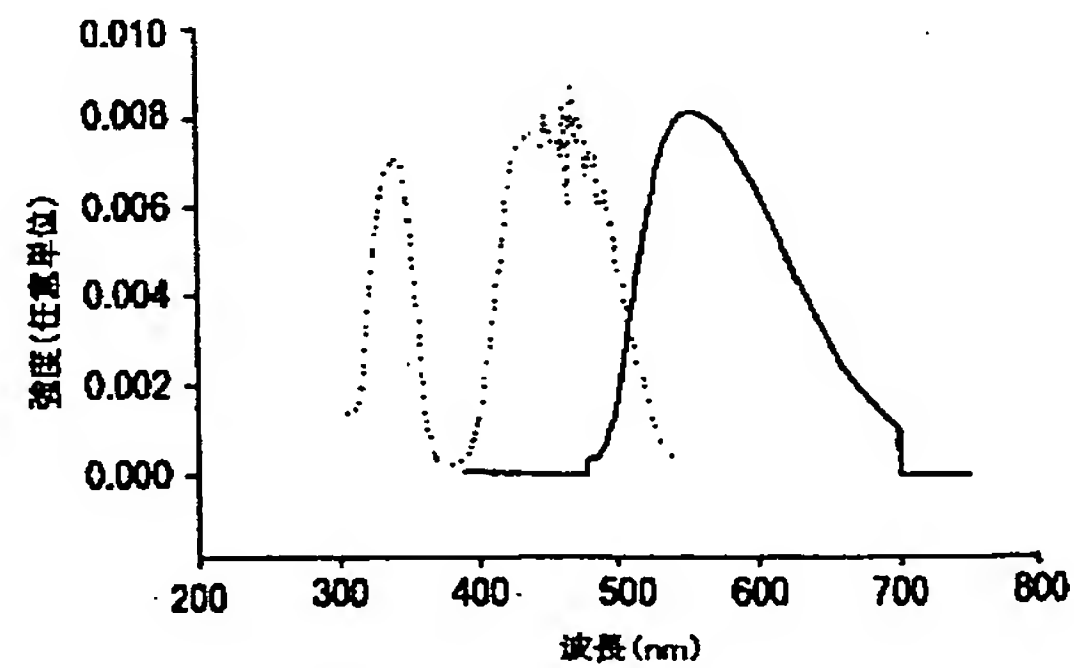
【図3】



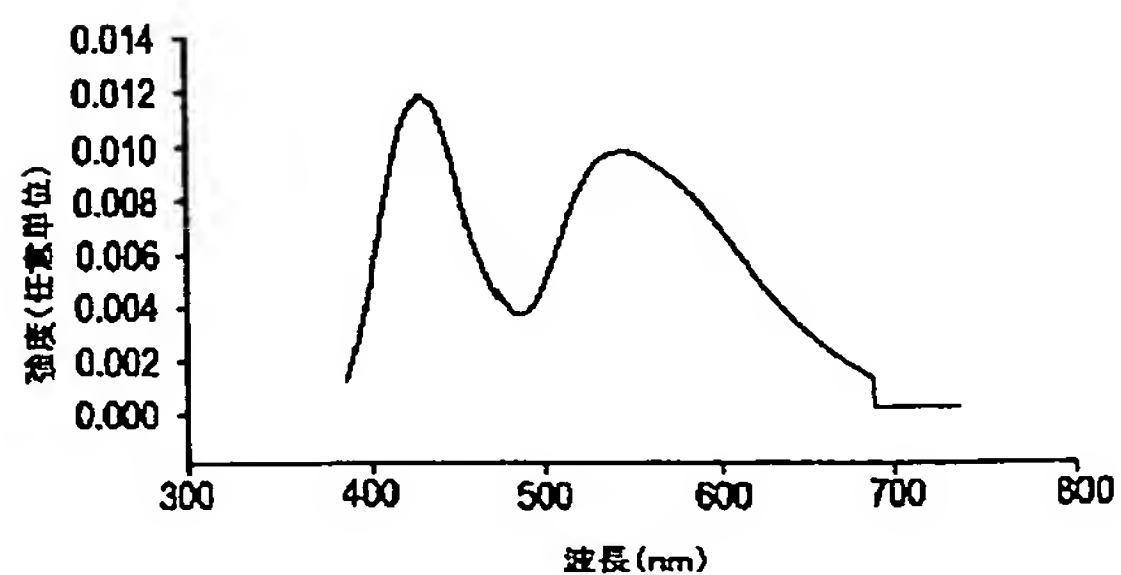
【図4】



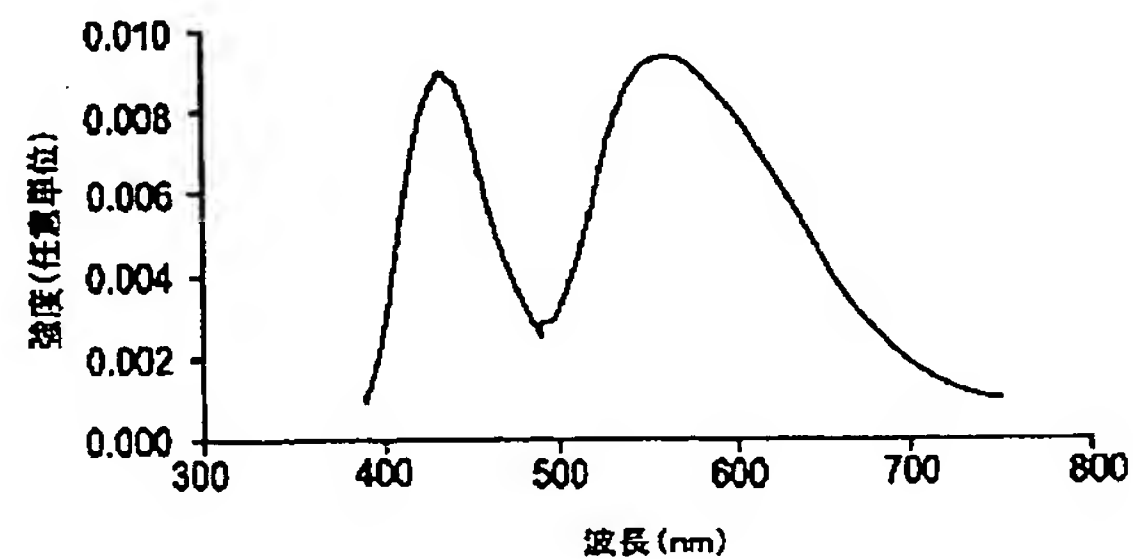
【図5】



【図6】

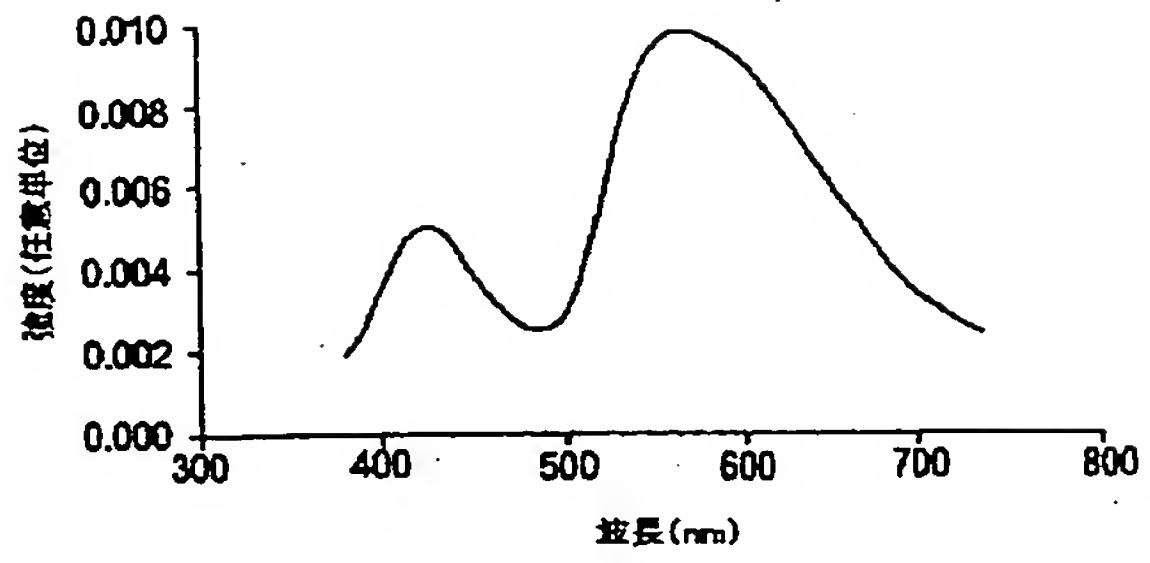


【図7】

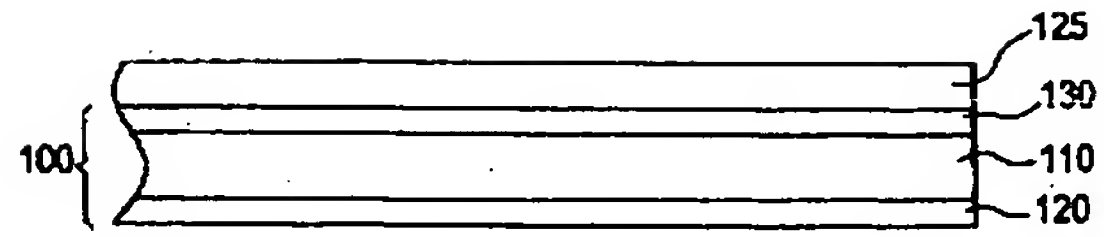




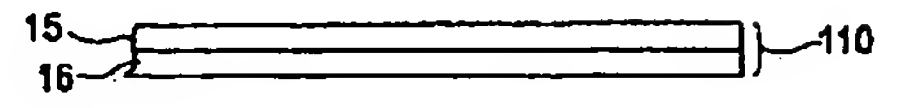
【図8】



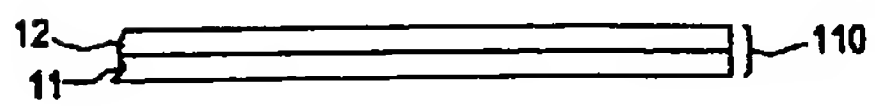
【図9】



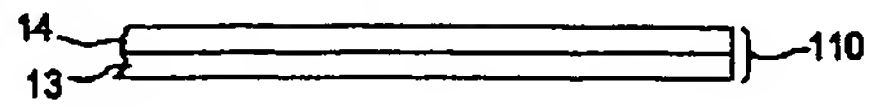
【図12】



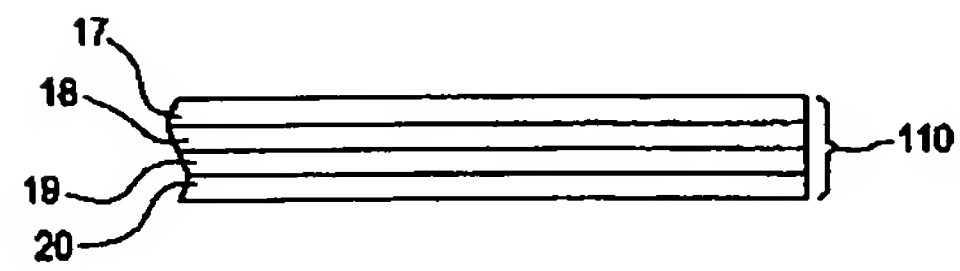
【図10】



【図11】



【図13】



【外国語明細書】

## 1. Title of Invention

LIGHT SOURCE WITH ORGANIC LAYER AND  
PHOTOLUMINESCENT LAYER

## 2. Claims

1. A light source comprising:  
an organic light emitting device which emits light having a first spectrum; and  
a phosphor layer which absorbs a portion of the light emitted by the organic light emitting device and which emits light having a second spectrum, wherein the portion of light absorbed by the phosphor layer is less than all of the light emitted by the organic light emitting device.
2. The light source of claim 1, wherein the phosphor layer comprises discrete phosphor particles which scatter light.
3. The light source of claim 1, wherein the phosphor layer further comprises scattering particles mixed into the phosphor layer .
4. The light source of claim 1, further comprising a layer of scattering particles, separate from the phosphor layer, which scattering particles scatter light emitted by the phosphor layer.
5. The light source of claim 4, wherein the scattering particles comprise at least one of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$ .
6. The light source of claim 1, wherein the light emitted by the organic light emitting device is mixed with the light emitted by the phosphor layer to produce light having a third spectrum.
7. The light source of claim 6, wherein the light having a third spectrum is white light
8. The light source of claim 7, wherein the white light has a color temperature of 5500-6500° K.

9. The light source of claim 8, wherein the white light has a color rendering index of at least 60.

10. The light source of claim 7, wherein the white light has a color temperature of 4500-5500° K.

11. The light source of claim 10, wherein the white light has a color rendering index of at least 60.

12. The light source of claim 7, wherein the white light has a color temperature of 3000-4500° K.

13. The light source of claim 12, wherein the white light has a color rendering index of at least 60.

14. The light source of claim 1, wherein the organic light emitting device has an emitting surface with first area, the phosphor layer has a second area, and the first area is coincident with the second area.

15. The light source of claim 1, wherein the organic light emitting device has an emitting area, and the phosphor layer covers the entire emitting area of the organic light emitting device.

16. A light source comprising:  
an organic light emitting device which emits light of a first wavelength; and  
a planar photoluminescent layer which absorbs a portion of the light emitted by the organic light emitting device and which emits light having a second wavelength, wherein the portion of light absorbed by the planar photoluminescent layer is less than all of the light emitted by the organic light emitting device, and the light emitted by the organic light emitting device mixes with the light emitted by the planar photoluminescent layer to produce white light.



17. The light source of claim 16, wherein the planar photoluminescent layer comprises at least one inorganic phosphor.

18. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor comprises  $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3(Al_{1-z}Ga_z)_5O_{12}$ , wherein

$$x + y \leq 1;$$

$$0 \leq x \leq 1;$$

$$0 \leq y \leq 1; \text{ and}$$

$$0 \leq z \leq 1.$$

19. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor comprises  $(Gd_{1-x}Ce_x)Sc_2Al_3O_{12}$ , wherein  $0 \leq x \leq 1$ .

20. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor comprises  $SrB_4O_7:Sm^{2+}$ .

21. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor comprises  $SrGa_2S_4:Eu^{2+}$ .

22. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor comprises  $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$ .

23. The light source of claim 17, wherein the at least one inorganic phosphor is embedded in a thermoplastic sheet.

24. The light source of claim 16, wherein the organic light emitting device has an emitting surface with an area of at least 9 square centimeters.

25. A light source comprising:

an organic light emitting device which emits light having a first spectrum;  
a photoluminescent layer which absorbs a portion of the light emitted by the organic light emitting device and which emits light having a second spectrum, wherein the portion of light absorbed by the phosphor layer is less than all of the light emitted by the organic light emitting device; and  
a scattering layer, separate from the photoluminescent layer, which scattering layer scatters light emitted by the photoluminescent layer.

26. The light source of claim 25, wherein the photoluminescent layer comprises at least one inorganic phosphor, and the light emitted by the organic light emitting device mixes with the light emitted by the at least one inorganic phosphor to produce white light.

27. The light source of claim 25, wherein the scattering layer comprises at least one of  $\text{TiO}_2$  and  $\text{SiO}_2$  scattering particles.

28. The light source of claim 25, wherein the photoluminescent layer is formed in a planar configuration, and the scattering layer is formed in a planar configuration parallel to the photoluminescent layer.

29. A method of making a lighting device comprising the steps of:  
forming an organic light emitting device; and  
forming a layer of photoluminescent material on the organic light emitting device, which layer of photoluminescent material absorbs less than all of the light emitted by the organic light emitting device;  
wherein the light emitted by the organic light emitting device mixes with the light emitted by the photoluminescent material to produce white light.

30. The method of claim 29, wherein the photoluminescent material comprises at least one inorganic phosphor.

31. The method of claim 30, wherein the at least one inorganic phosphor is formed in a planar configuration parallel to an emitting surface of the organic light emitting device.

32. The method of claim 31, wherein the at least one inorganic phosphor is encapsulated in a planar sheet comprising a thermoplastic.

33. The method of claim 29, further comprising the step of forming a scattering layer, separate from the layer of photoluminescent material, on the layer of photoluminescent material.

34. The method of claim 33, wherein the scattering layer is formed in a planar configuration parallel to the photoluminescent layer.

35. The method of claim 29, further comprising the step of selecting the photoluminescent material such that a color temperature of the white light is 5500-6500° K.

36. The method of claim 29, further comprising the step of selecting the photoluminescent material such that a color temperature of the white light is 4500-5500° K.

37. The method of claim 29, further comprising the step of selecting the photoluminescent material such that a color temperature of the white light is 3000-4500° K.



### **3. Detailed Description of Invention**

#### **BACKGROUND OF THE INVENTION**

##### **1. Field of the Invention**

The present invention relates generally to lighting applications, and more particularly to a light source comprising an organic light emitting device combined with a layer of photoluminescent material which may have a relatively large area.

##### **2. Description of the Related Art**

There are many examples of lighting devices which comprise inorganic light emitting diodes (LEDs) or organic light emitting devices (OLEDs). One example is the commercially available blue inorganic gallium nitride (GaN) LEDs which are coated with phosphor particles to produce white light. These LEDs are essentially point sources of light rather than extended sources of light.

An example of an OLED is set forth in U.S. Patent 5,294,870, which describes an organic electroluminescent multicolor display device comprising an organic electroluminescent source emitting blue light with green- and red-emitting fluorescent materials applied to different subpixel areas. This device emits different colors from the different subpixel areas by color shifting with the green- and red-emitting fluorescent materials.

Another example of an OLED is described in Junji Kido et al., "Multilayer White Light-Emitting Organic Electroluminescent Device", 267 Science 1332-1334 (1995). This device includes three emitter layers with different carrier transport properties, each emitting blue, green, or red light, which layers are used to generate white light. In this device, however, the layers emitting the different colors typically degrade over time at different rates. Consequently, the color of the device is likely to

change over time. In addition, the uniformity of the light output over the emitting area of the device may be less than desirable.

#### BRIEF SUMMARY OF THE INVENTION

A light source, according to one aspect of the invention, comprises an organic light emitting device which emits light having a first spectrum and a layer of photoluminescent material which absorbs a portion of the light emitted by the organic light emitting layer and which emits light having a second spectrum. The layer of photoluminescent material, which may comprise an inorganic phosphor, typically absorbs less than all of the light emitted by the organic light emitting layer. The light emitted by the organic light emitting layer is mixed with the light emitted by the photoluminescent material to produce light having a third spectrum.

Exemplary embodiments of the invention provide advantages over known devices. For example, if a phosphor is used as the photoluminescent layer, the light emitted from the organic light emitting device is scattered, which provides improved uniformity in light output over the area of the light source. Also, because most phosphors are relatively stable over time, the light source according to exemplary embodiments of the invention has good color stability over time.

#### DETAILED DESCRIPTION OF THE INVENTION

Other features and advantages of the invention will be apparent from the following detailed description of preferred embodiments and the accompanying drawings.

For general illumination applications, it is often desirable to have a thin, flat, inexpensive, extended white light source with a high color rendition index (CRI) and a color temperature in the range of 3000-6500° K.

The color temperature of a light source refers to the temperature of a blackbody source having the closest color match to the light source in question. The color match is typically represented and compared on a conventional CIE (Commission International de l'Eclairage) chromaticity diagram. See, for example, "Encyclopedia of Physical Science and Technology", vol. 7, 230-231 (Robert A. Meyers ed., 1987). Generally, as the color temperature increases, the light becomes more blue. As the color temperature decreases, the light appears more red.

The color rendering index (CRI) is a measure of the degree of distortion in the apparent colors of a set of standard pigments when measured with the light source in question as opposed to a standard light source. The CRI can be determined by calculating the color shift, e.g. quantified as tristimulus values, produced by the light source in question as opposed to the standard light source. Typically, for color temperatures below 5000° K, the standard light source used is a blackbody of the appropriate temperature. For color temperatures greater than 5000° K, sunlight is typically used as the standard light source. Light sources having a relatively continuous output spectrum, such as incandescent lamps, typically have a high CRI, e.g. equal to or near 100. Light sources having a multi-line output spectrum, such as



high pressure discharge lamps, typically have a CRI ranging from about 50 to 80. Fluorescent lamps typically have a CRI greater than about 60.

According to exemplary embodiments of the invention, the light source comprises an organic light emitting device which emits light in the blue or ultraviolet (UV) spectral region combined with a coating of photoluminescent material such as phosphor particles. The photoluminescent materials, e.g. phosphor particles, are typically chosen such that they absorb the blue or UV light emitted from the organic light emitting device and re-emit light at longer wavelengths. The particle size of the phosphor particles is typically chosen to allow enough light scattering to effectively mix the light re-emitted from the phosphors with the blue or UV light that is not absorbed by the phosphors to provide good color mixing so that the final color of the light emitted by the device is homogeneous. In addition, the phosphor particle absorption and emission spectral characteristics and intensities are typically chosen such that the combination spectrum consisting of the non-absorbed light along with the phosphor-emitted light provides white light, e.g. in the color range of 3000-6500° K with a CRI greater than 60.

Figure 9 illustrates the structure of a typical organic light emitting device. The organic light emitting device 100 includes an organic light emitting layer 110 disposed between two electrodes, e.g., a cathode 120 and an anode 130. The organic light emitting layer 110 emits light upon application of a voltage across the anode and cathode. The term "organic light emitting device" generally refers to the combination of the organic light emitting layer, the cathode, and the anode. The organic light emitting device 100 may be formed on a substrate 125, such as glass or transparent plastics such as PET (MYLAR), polycarbonate, and the like, as shown in Figure 9.

The anode and cathode inject charge carriers, i.e. holes and electrons, into the organic light emitting layer 110 where they recombine to form excited molecules or excitons which emit light when the molecules or excitons decay. The color of light emitted by the molecules depends on the energy difference between the excited state and the ground state of the molecules or excitons. Typically, the applied voltage is about 3-10 volts but can be up to 30 volts or more, and the external quantum efficiency (photons out/electrons in) is between 0.01% and 5%, but could be up to

10%, 20%, 30%, or more. The organic light emitting layer 110 typically has a thickness of about 50-500 nanometers, and the electrodes 120, 130 each typically have a thickness of about 100-1000 nanometers.

The cathode 120 generally comprises a material having a low work function value such that a relatively small voltage causes emission of electrons from the cathode. The cathode 120 may comprise, for example, calcium or a metal such as gold, indium, manganese, tin, lead, aluminum, silver, magnesium, or a magnesium/silver alloy. Alternatively, the cathode can be made of two layers to enhance electron injection. Examples include a thin inner layer of LiF followed by a thicker outer layer of aluminum or silver, or a thin inner layer of calcium followed by a thicker outer layer of aluminum or silver.

The anode 130 typically comprises a material having a high work function value. The anode 130 is preferably transparent so that light generated in the organic light emitting layer 110 can propagate out of the organic light emitting device 100. The anode 130 may comprise, for example, indium tin oxide (ITO), tin oxide, nickel, or gold. The electrodes 120, 130 can be formed by conventional vapor deposition techniques, such as evaporation or sputtering, for example.

A variety of organic light emitting layers 110 can be used in conjunction with exemplary embodiments of the invention. According to one embodiment shown in Figure 9, the organic light emitting layer 110 comprises a single layer. The organic light emitting layer 110 may comprise, for example, a conjugated polymer which is luminescent, a hole-transporting polymer doped with electron transport molecules and a luminescent material, or an inert polymer doped with hole transporting molecules and a luminescent material. The organic light emitting layer 110 may also comprise an amorphous film of luminescent small organic molecules which can be doped with other luminescent molecules.

According to other embodiments of the invention shown in Figures 10-13, the organic light emitting layer 110 comprises two or more sublayers which carry out the functions of hole injection, hole transport, electron injection, electron transport, and luminescence. Only the luminescent layer is required for a functioning device. However, the additional sublayers generally increase the efficiency with which holes

and electrons recombine to produce light. Thus the organic light emitting layer 110 can comprise 1-4 sublayers including, for example, a hole injection sublayer, a hole transport sublayer, a luminescent sublayer, and an electron injection sublayer. Also, one or more sublayers may comprise a material which achieves two or more functions such as hole injection, hole transport, electron injection, electron transport, and luminescence.

Embodiments in which the organic light emitting layer 110 comprises a single layer, as shown in Figure 9, will now be described.

According to one embodiment, the organic light emitting layer 110 comprises a conjugated polymer. The term conjugated polymer refers to a polymer which includes a delocalized  $\pi$ -electron system along the backbone of the polymer. The delocalized  $\pi$ -electron system provides semiconducting properties to the polymer and gives it the ability to support positive and negative charge carriers with high mobilities along the polymer chain. The polymer film has a sufficiently low concentration of extrinsic charge carriers that on applying an electric field between the electrodes, charge carriers are injected into the polymer and radiation is emitted from the polymer. Conjugated polymers are discussed, for example, in R. H. Friend, 4 *Journal of Molecular Electronics* 37-46 (1988).

Examples of suitable conjugated polymers include polyfluorenes such as 2,7-substituted-9-substituted fluorenes and 9-substituted fluorene oligomers and polymers. Polyfluorenes generally have good thermal and chemical stability and high solid-state fluorescence quantum yields. The fluorenes, oligomers and polymers may be substituted at the 9-position with two hydrocarbyl moieties which may optionally contain one or more of sulfur, nitrogen, oxygen, phosphorous or silicon heteroatoms; a C<sub>5-20</sub> ring structure formed with the 9-carbon on the fluorene ring or a C<sub>4-20</sub> ring structure formed with the 9-carbon containing one or more heteroatoms of sulfur, nitrogen or oxygen; or a hydrocarbylidene moiety. According to one embodiment, the fluorenes are substituted at the 2- and 7-positions with aryl moieties which may further be substituted with moieties which are capable of crosslinking or chain extension or a trialkylsiloxy moiety. The fluorene polymers and oligomers may be substituted at the 2- and 7'-positions. The monomer units of the fluorene oligomers

and polymers are bound to one another at the 2- and 7'-positions. The 2,7'-aryl-9-substituted fluorene oligomers and polymers may be further reacted with one another to form higher molecular weight polymers by causing the optional moieties on the terminal 2,7'-aryl moieties, which are capable of crosslinking or chain extension, to undergo chain extension or crosslinking.

The above described fluorenes and fluorene oligomers or polymers are readily soluble in common organic solvents. They are processable into thin films or coatings by conventional techniques such as spin coating, spray coating, dip coating and roller coating. Upon curing, such films demonstrate resistance to common organic solvents and high heat resistance. Additional information on such polyfluorenes is described in U.S. Patent 5,708,130, which is hereby incorporated by reference.

Other suitable polyfluorenes which can be used in conjunction with exemplary embodiments of the invention include poly(fluorene) copolymers, such as poly(fluorene-co-anthracene)s, which exhibit blue electroluminescence. These copolymers include a polyfluorene subunit such as 2,7-dibromo-9,9-di-n-hexylfluorene (DHF) and another subunit such as 9,10-dibromoanthracene (ANT). High molecular weight copolymers from DHF and ANT can be prepared by the nickel-mediated copolymerization of the corresponding aryl dibromides. The final polymer molecular weight can be controlled by adding the end capping reagent 2-bromofluorene at different stages of the polymerization. The copolymers are thermally stable with decomposition temperatures above 400° C and are soluble in common organic solvents such as tetrahydrofuran (THF), chloroform, xylene, or chlorobenzene. They emit blue light having a wavelength of about 455 nm. Additional information on such polyfluorenes is described in Gerrit Klärner et al., "Colorfast Blue Light Emitting Random Copolymers Derived from Di-n-hexylfluorene and Anthracene", 10 Adv. Mater. 993-997 (1998), which is hereby incorporated by reference.

According to another embodiment of the invention shown in Figure 10, the organic light emitting layer 110 comprises two sublayers. The first sublayer 11 provides hole transport, electron transport, and luminescent properties and is positioned adjacent the cathode 120. The second sublayer 12 serves as a hole injection



sublayer and is positioned adjacent the anode 130. The first sublayer 11 comprises a hole-transporting polymer doped with electron transporting molecules and a luminescent material, e.g. a dye or polymer. The hole-transporting polymer may comprise poly(N-vinylcarbazole) (PVK), for example. The electron transport molecules may comprise 2-(4-biphenyl)-5-(4-tert-butylphenyl)-1,3,4-oxadiazole (PBD), for example. The luminescent material typically comprises small molecules or polymers which act as emitting centers to vary the emission color. For example, the luminescent materials may comprise the organic dye coumarin 460, which has a blue emission. Thin films of these blends can be formed by spin coating a chloroform solution containing different amounts of PVK, electron transport molecules, and luminescent materials. For example, a suitable mixture comprises 100 weight percent PVK, 40 weight percent PBD, and 0.2-1.0 weight percent organic dye.

The second sublayer 12 serves as a hole injection sublayer and may comprise poly(3,4)ethylenedioxythiophene/polystyrenesulphonate (PEDT/PSS), for example, available from Bayer Corporation, which can be applied by conventional methods such as spin coating. Additional information on hole-transporting polymers doped with electron transporting molecules and a luminescent material is described in Chung-Chih Wu et al., "Efficient Organic Electroluminescent Devices Using Single-Layer Doped Polymer Thin Films with Bipolar Carrier Transport Abilities", 44 IEEE Trans. on Elec. Devices 1269-1281 (1997), which is hereby incorporated by reference.

According to another embodiment of the invention shown in Figure 11, the organic light emitting layer 110 includes a first sublayer 13 comprising a luminescent sublayer and a second sublayer 14 comprising a hole transporting sublayer. The hole transporting sublayer 14 may comprise an aromatic amine that is readily and reversibly oxidizable, for example. One example of such a luminescent sublayer and a hole transporting sublayer is described in A. W. Grice et al, "High Brightness and Efficiency of Blue Light-Emitting Polymer Diodes", 73 Appl. Phys. Letters 629-631 (1998), which is hereby incorporated by reference. The device described therein comprises two polymer layers sandwiched between an ITO electrode and a calcium electrode. The polymer layer next to the ITO is a hole transport layer and comprises a

polymeric triphenyldiamine derivative (poly-TPD). The blue emitting polymer layer which is next to the calcium electrode is poly(9,9-dioctylfluorene).

According to another embodiment of the invention shown in Figure 12, the organic light emitting layer 110 comprises a first sublayer 15 which includes luminescent and hole transport properties, and a second sublayer 16 which includes electron injection properties. The first sublayer 15 comprises a polysilane, and the second sublayer comprises an oxadiazole compound. This structure produces ultraviolet (UV) light.

Polysilanes are linear silicon (Si)-backbone polymers substituted with a variety of alkyl and/or aryl side groups. In contrast to  $\pi$ -conjugated polymers, polysilanes are quasi one-dimensional materials with delocalized  $\sigma$ -conjugated electrons along the polymer backbone chain. Due to their one-dimensional direct-gap nature, polysilanes exhibit a sharp photoluminescence with a high quantum efficiency in the ultraviolet region. Examples of suitable polysilanes include poly(di-*n*-butylsilane) (PDBS), poly(di-*n*-pentylsilane) (PDPS), poly(di-*n*-hexylsilane) (PDHS), poly(methyl-phenylsilane) (PMPS), and poly[-bis(*p*-butylphenyl)silane] (PBPS). The polysilane sublayer 15 can be applied by spin coating from a toluene solution, for example. The electron injection sublayer 16 may comprise 2,5-bis(4-biphenyl)-1,3,4-oxadiazole (BBD), for example. Additional information on UV-emitting polysilane organic light emitting layers is described in Hiroyuki Suzuki et al, "Near-ultraviolet Electroluminescence from Polysilanes", 331 Thin Solid Films 64-70 (1998), which is hereby incorporated by reference.

According to another embodiment of the invention shown in Figure 13, the organic light emitting layer 110 comprises a hole injecting sublayer 17, a hole transporting sublayer 18, a luminescent sublayer 19, and an electron injecting sublayer 20. The hole injecting sublayer 17 and hole transporting sublayer 18 efficiently provide holes to the recombination area. The electron injecting sublayer 20 efficiently provides electrons to the recombination area.

The hole injecting sublayer 17 may comprise a porphyrinic compound, such as a metal free phthalocyanine or a metal containing phthalocyanine, for example. The hole transporting sublayer 18 may comprise a hole transporting aromatic tertiary

amine, where the latter is a compound containing at least one trivalent nitrogen atom that is bonded only to carbon atoms, at least one of which is a member of an aromatic ring. The luminescent sublayer 19 may comprise, for example, a mixed ligand aluminum chelate emitting in the blue wavelengths, such as bis(R-8-quinolinolato)-(phenolato)aluminum(III) chelate where R is a ring substituent of the 8-quinolinolato ring nucleus chosen to block the attachment of more than two 8-quinolinolato ligands to the aluminum atom. The electron injection sublayer 20 may comprise a metal oxinoid charge accepting compound such as a tris-chelate of aluminum. Additional information on such four-layer materials and devices are described in U.S. Patent 5,294,870, which is hereby incorporated by reference.

The above examples of organic light emitting layers 110 can be used to design a light emitting device which emits in one or more desired colors. For example, the light emitting device 135 can emit ultraviolet light as well as blue light. Other colors such as red and green can be produced, but may be less desirable for the production of white light.

Referring to Figure 1, a light source 200 is depicted according to one embodiment of the invention. The term "light source" generally refers to an organic light emitting device 100 in combination with a photoluminescent layer. As shown in Figure 1, the phosphor particles are deposited as a photoluminescent layer 115 onto the transparent substrate 125. A fraction of the light from the organic light emitting device 100 is absorbed by the phosphor particles and re-emitted at longer wavelengths. The longer wavelength light mixes with the unabsorbed blue or UV light through scattering in the phosphor particle layer 115 such that the emitted light is homogeneous and white. Typically, the phosphor layer 115 absorbs about 30-90% of the light emitted by the organic light emitting device 100. This percentage is generally chosen based on the spectra of the organic light emitting device and the phosphor, the quantum efficiency of the phosphor, and the desired color.

Figure 2 depicts another embodiment of a light source 300 where the phosphor powder particles are added into the transparent or partially transparent substrate 125, onto which the organic light emitting device 100 is made. Substrate materials into

which phosphor particles can be added include glass and transparent plastics such as PET (MYLAR), polycarbonate, and other thermoplastic materials.

For both of the embodiments of Figures 1 and 2, scattering particles such as  $\text{TiO}_2$  or  $\text{SiO}_2$  particles can be added into the phosphor powder mix in order to aid in the color mixing and the brightness uniformity over the emitting area of the light source. In addition, Figure 3 illustrates another embodiment of a light source 400 in which a separate layer 135 of scattering particles is provided above the phosphor powder layer 125 to provide enhanced color mixing.

Typically, the emitting area of the organic light emitting device 100 is roughly coincident with the area of the phosphor layer and the area of the layer of scattering particles, as shown in Figures 1-3. For example, the emitting area of the organic light emitting device 100 may be a 3 cm x 3 cm square, and the phosphor layer and layer of scattering particles may have about the same area in shape and value (e.g. 75-125% of the emitting area of the organic light emitting device). Typically, the emitting area of the organic light emitting device 100, the phosphor layer, and the layer of scattering particles are all planar and parallel, as shown in Figures 1-3. The area of the phosphor layer is typically at least as large as the emitting area of the organic light emitting device.

The following example describes a blue organic light emitting device 100 which can be used in conjunction with exemplary embodiments of the invention.

#### EXAMPLE

A blue-emitting organic light emitting device was constructed as follows. Indium tin oxide (ITO) coated glass (15 ohm-square) was obtained from Applied Films Corporation and portions of it were etched away using the vapors of aqua regia. This substrate was then mechanically cleaned with a detergent, soaked in a methanol solution followed by a boiling isopropyl alcohol solution, and finally placed in an ozone cleaner for 5 minutes. An approximately 5 nanometer (nm) layer of poly(3,4)ethylenedioxythiophene/polystyrenesulphonate (PEDT/PSS) from Bayer Corporation was then spin coated onto the ITO. Approximately 100 nm of a polymer blend consisting of poly(9-vinyl carbazole) (PVK) from Aldrich Co., 2-(4-



biphenyl)-5-(4-tert-butyl-phenyl)-1,3,4-oxadiazole (PBD) from Aldrich Co., and 7-Diethylamino-4-methylcoumarin (Coumarin 460) from Exciton Co. with weight percent ratios of 100:40:1 was then spin coated onto the PEDT layer using dichloroethane as the solvent. Next, a cathode consisting of an approximately 0.8 nm layer of lithium fluoride followed by about 100 nm of aluminum was evaporated onto the device through a shadow-mask to define a cathode pattern. The device was then transferred to a glove box and a glass slide was attached to the cathode side of the device with epoxy in order to provide encapsulation. The resulting device emitted blue light upon application of a voltage. The blue emission spectrum for this device is shown in Figure 4.

As described above, the light source includes a layer of photoluminescent material which absorbs light from the organic light emitting layer and emits light typically having a longer wavelength. The photoluminescent material typically comprises an inorganic phosphor, but may also comprise an organic photoluminescent material such as an organic dye. According to exemplary embodiments of the invention, a phosphor material absorbs blue light from the organic light emitting device 100 and re-emits the light at lower wavelengths such that color temperatures in the range of 3000-6500° K are achieved with good color rendering properties.

Examples of phosphor materials that can be utilized include those phosphors based on cerium doped into a  $Y_3Al_5O_{12}$  (YAG) lattice which crystallizes in the garnet structure. Specific examples include  $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3Al_5O_{12}$  (YAG:Gd,Ce),  $(Y_{1-x}Ce_x)_3Al_5O_{12}$  (YAG:Ce),  $(Y_{1-x}Ce_x)_3(Al_{1-y}Ga_y)_5O_{12}$  (YAG:Ga,Ce) and  $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3(Al_{1-z}Ga_z)_5O_{12}$  (YAG:Gd,Ga,Ce) and  $(Gd_{1-x}Ce_x)Sc_2Al_3O_{12}$  (GSAG). The YAG phosphors can be described generally as  $(Y_{1-x-y}Gd_xCe_y)_3(Al_{1-z}Ga_z)_5O_{12}$ , wherein  $x + y \leq 1$ ;  $0 \leq x \leq 1$ ;  $0 \leq y \leq 1$ ; and  $0 \leq z \leq 1$ . The position of the peak of the emission band varies considerably in the aforementioned phosphors. Depending on the garnet composition, the  $Ce^{3+}$  emission can be tuned from the green (~540 nm; YAG:Ga,Ce) to the red (~600 nm; YAG:Gd,Ce) without appreciable loss in the luminescence efficiency. An appropriate phosphor material or blend of phosphor materials in combination with the visible (blue) emission of the organic light emitting device 100 can thus produce a

white field corresponding to a wide range of color temperatures. Light sources in the form of large area white light electroluminescent panels which closely approximate the color, CRI, and brightness of conventional fluorescent lamps can be made with such phosphors and organic light emitting devices. Examples of suitable combinations of color temperature and CRI include 3000-4500° K with a CRI of at least 60 or 70 or more; 4500-5500° K with a CRI of at least 60 or 70 or more; and 5500-6500° K with a CRI of at least 60 or 70 or more.

Figure 5 is a graph of the excitation (dotted line) and emission (solid line) spectrum of YAG:Ce having the following composition:  $(Y_{0.97}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ . The output spectrum for a light source (organic light emitting device plus phosphor) can be estimated by summing the individual spectra of the blue-emitting organic light emitting device and the phosphor emission spectra. Figure 6 shows an example of such an estimated spectrum for a light source comprising: 1) an organic light emitting device made according to the example above (PVK:PBD:Coumarin 460); and 2) the YAG:Ce phosphor (wherein the relative ratio of the integrated intensities of the blue spectrum over the phosphor spectrum is approximately 3). From the spectrum shown in Figure 6, the correlated color temperature and CRI can be determined by methods known in the art. See, for example, Gunter Wyszecki and W. S. Stiles, "Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae", John Wiley & Sons, Inc. (1982). By these known methods, the correlated color temperature and CRI were determined to be 6200° K and 75, respectively for the spectrum of Figure 6.

In general, for different applications, different color temperatures may be desired. Different color temperatures can be obtained with the same organic light emitting device/phosphor material combination by changing the relative ratio of the emitted blue light and the emitted phosphor light. This ratio may be changed, for example, by adjusting the thickness of the phosphor layer.

Alternatively, a different organic light emitting device/phosphor material system can be utilized. For example, Figure 7 shows a calculated emission spectrum when the phosphor is changed from YAG:Ce to YAG:Gd,Ce having the following formula:  $(Y_{0.77}Gd_{0.2}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ . The organic light emitting device was the same as

for Figure 6 (PVK:PBD:Coumarin 460). The resulting color temperature and CRI were calculated to be 5000° K and 74, respectively.

Figure 8 shows a calculated emission spectrum when the phosphor is changed from YAG:Ce to YAG:Gd,Ce having the following formula:  $(Y_{0.37}Gd_{0.6}Ce_{0.03})_3Al_5O_{12}$ . The organic light emitting device was the same as for Figure 6 (PVK:PBD:Coumarin 460). The resulting color temperature and CRI were calculated to be 3100° K and 68, respectively. These calculations illustrate that a range of color temperatures, e.g. 3000-6500° K, with a high CRI, e.g. greater than 60 or 70, can be achieved in the organic light emitting device/phosphor system by changing the phosphor composition, in this case by changing the relative amount of Gd in the YAG:Gd,Ce phosphor.

In addition, more than one phosphor material may be combined together and then utilized with a blue organic light emitting device to achieve different colors, color temperatures, and color rendition indices. Other phosphors which can be used are described in U.S. Serial No. 09/469,702, entitled "Luminescent Display and Method of Making", filed December 22, 1999, in the name of Anil Duggal and Alok Srivastava, which is hereby incorporated by reference. An example of a suitable red emitting inorganic phosphor is  $SrB_4O_7:Sm^{2+}$ , where the  $Sm^{2+}$  following the colon represents an activator. This phosphor absorbs most visible wavelengths shorter than 600 nm and emits light as a deep red line with a wavelength greater than 650 nm. An example of a suitable green emitting inorganic phosphor is  $SrGa_2S_4:Eu^{2+}$ . This phosphor absorbs below 500 nm and has a maximum emission at 535 nanometers. An example of a suitable blue emitting inorganic phosphor is  $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$ .  $BaMg_2Al_{16}O_{27}:Eu^{2+}$  absorbs most wavelengths below 430 nm and has a maximum emission at 450 nm. Examples of organic dyes which can be utilized in the photoluminescent layer include coumarin 460 (blue), coumarin 6 (green), and Nile red.

Other embodiments of the invention will be apparent to those skilled in the art from a consideration of the embodiments disclosed herein. It is intended that the specification and examples be considered as exemplary only, with the scope and spirit of the invention being defined by the claims.

#### 4. Brief Description of Drawings

Figures 1-3 illustrate three embodiments of a light source according to exemplary embodiments of the invention;

Figure 4 is a graph of the electroluminescence spectrum of an organic light emitting device according an exemplary embodiment of the invention;

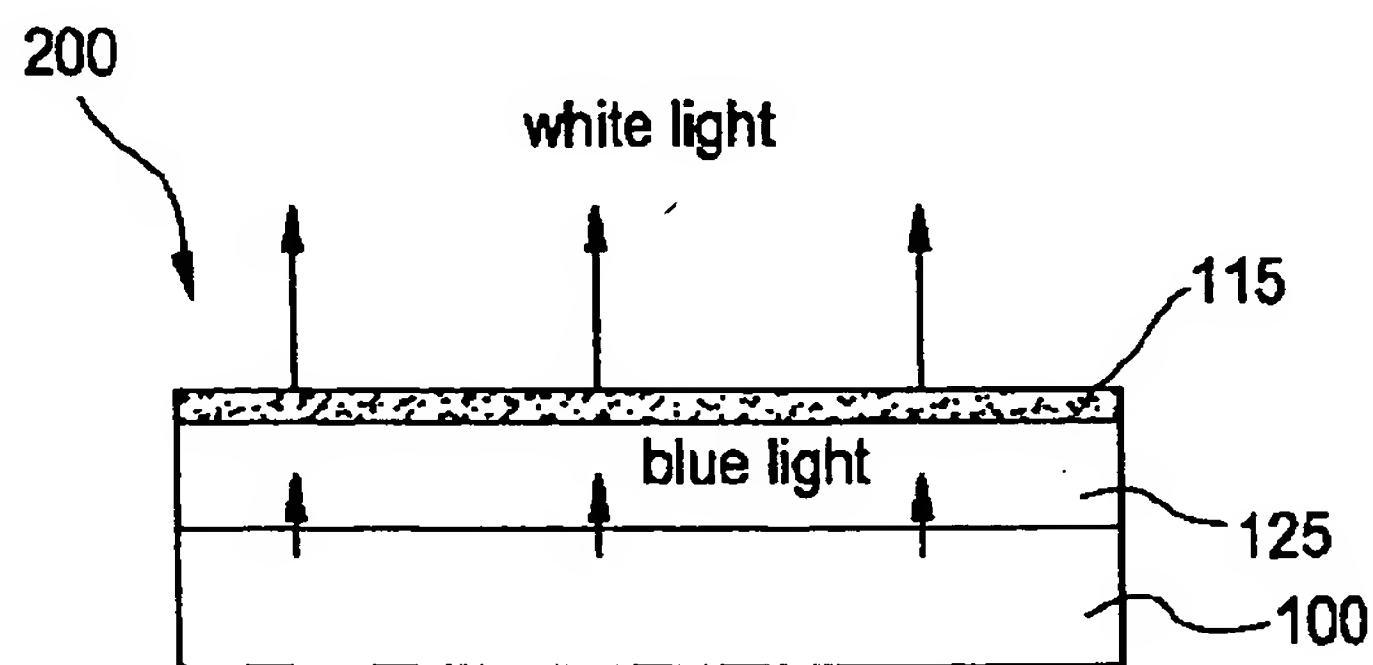
Figure 5 is a graph of the excitation and emission spectra of the YAG:Ce phosphor according to an exemplary embodiment of the invention;

Figures 6-8 are graphs of calculated emission spectra of a blue organic light emitting device and a phosphor;

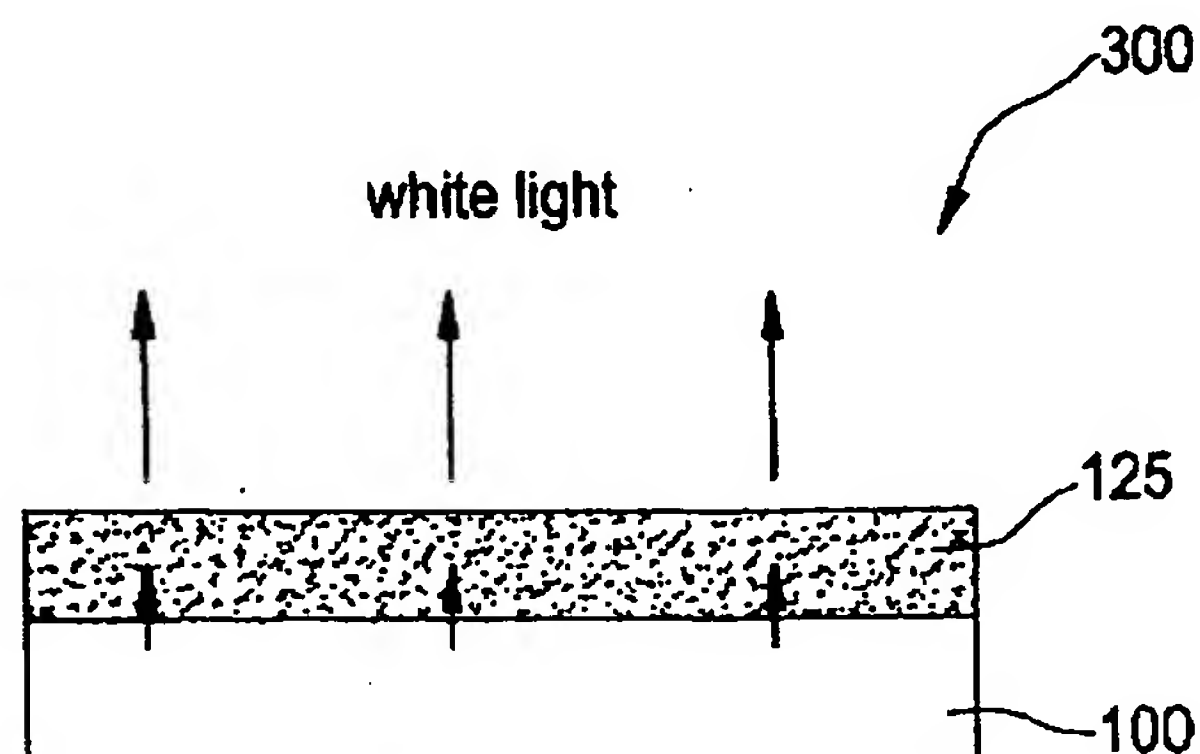
Figure 9 is a drawing of an organic light emitting device according to an exemplary embodiment of the invention; and

Figures 10-13 illustrate various examples of organic light emitting layers formed of two or more sublayers.

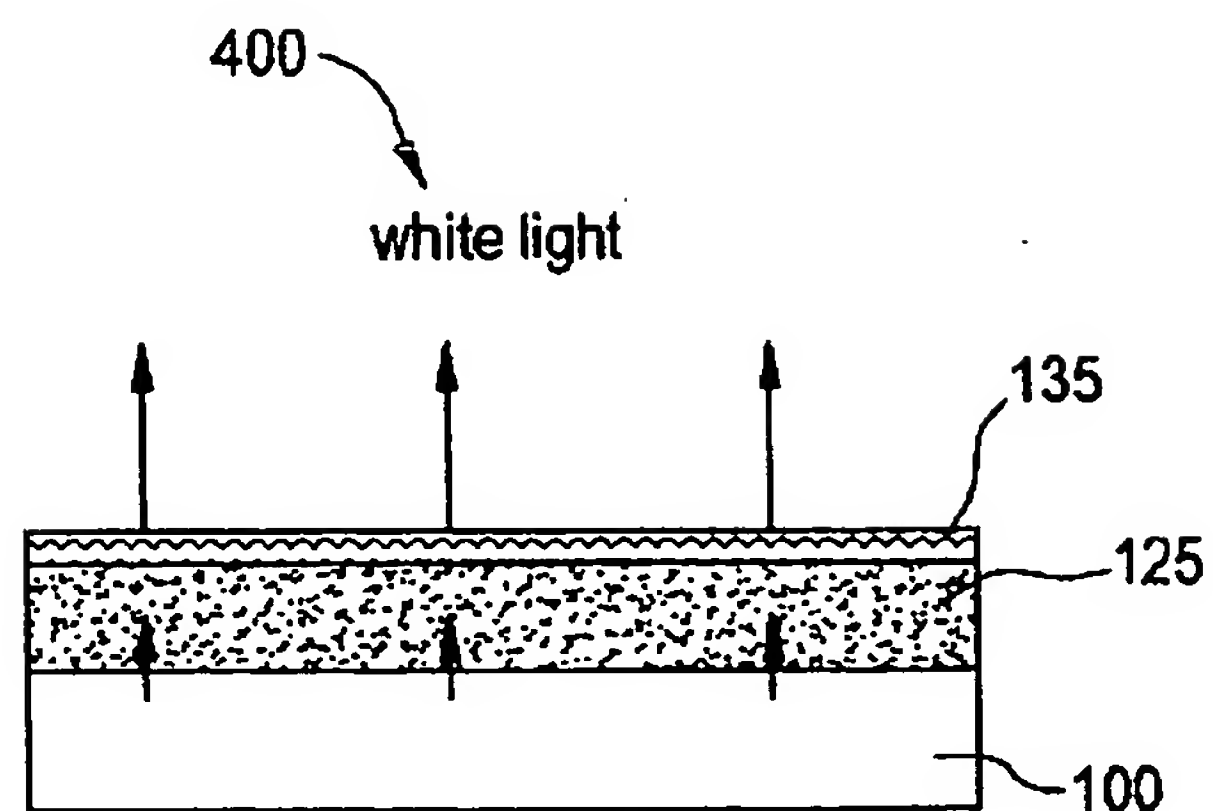
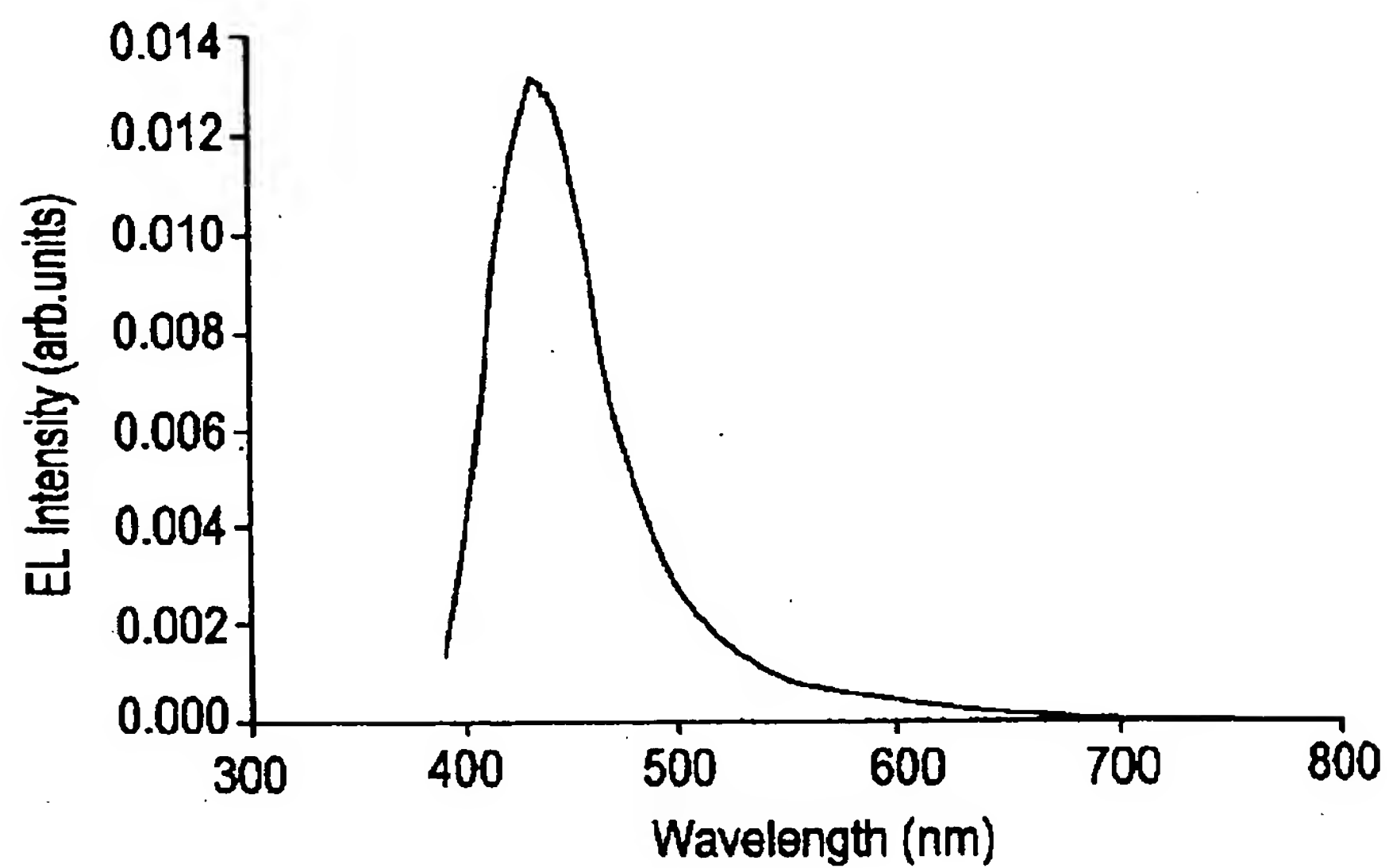
**FIG. 1**

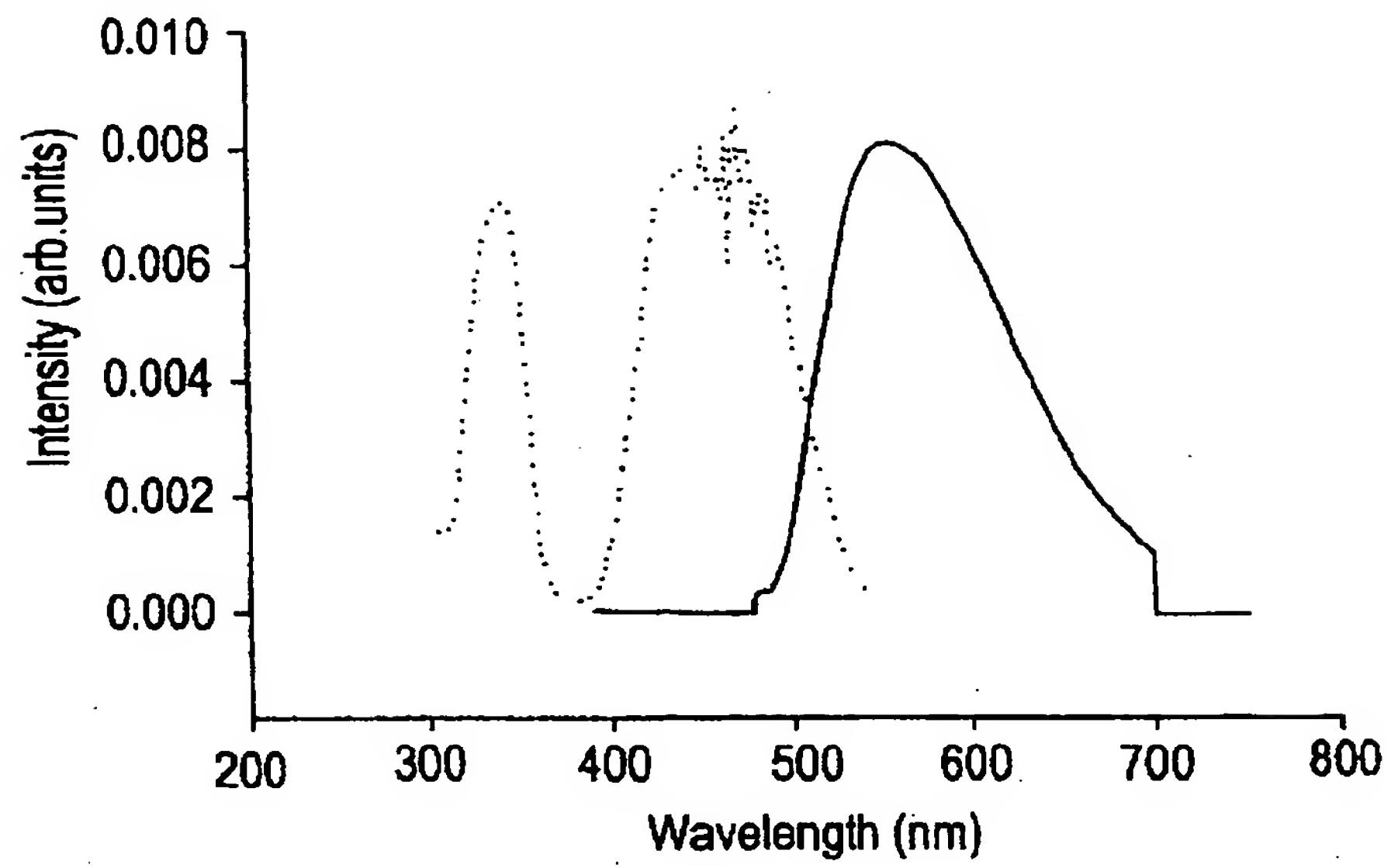
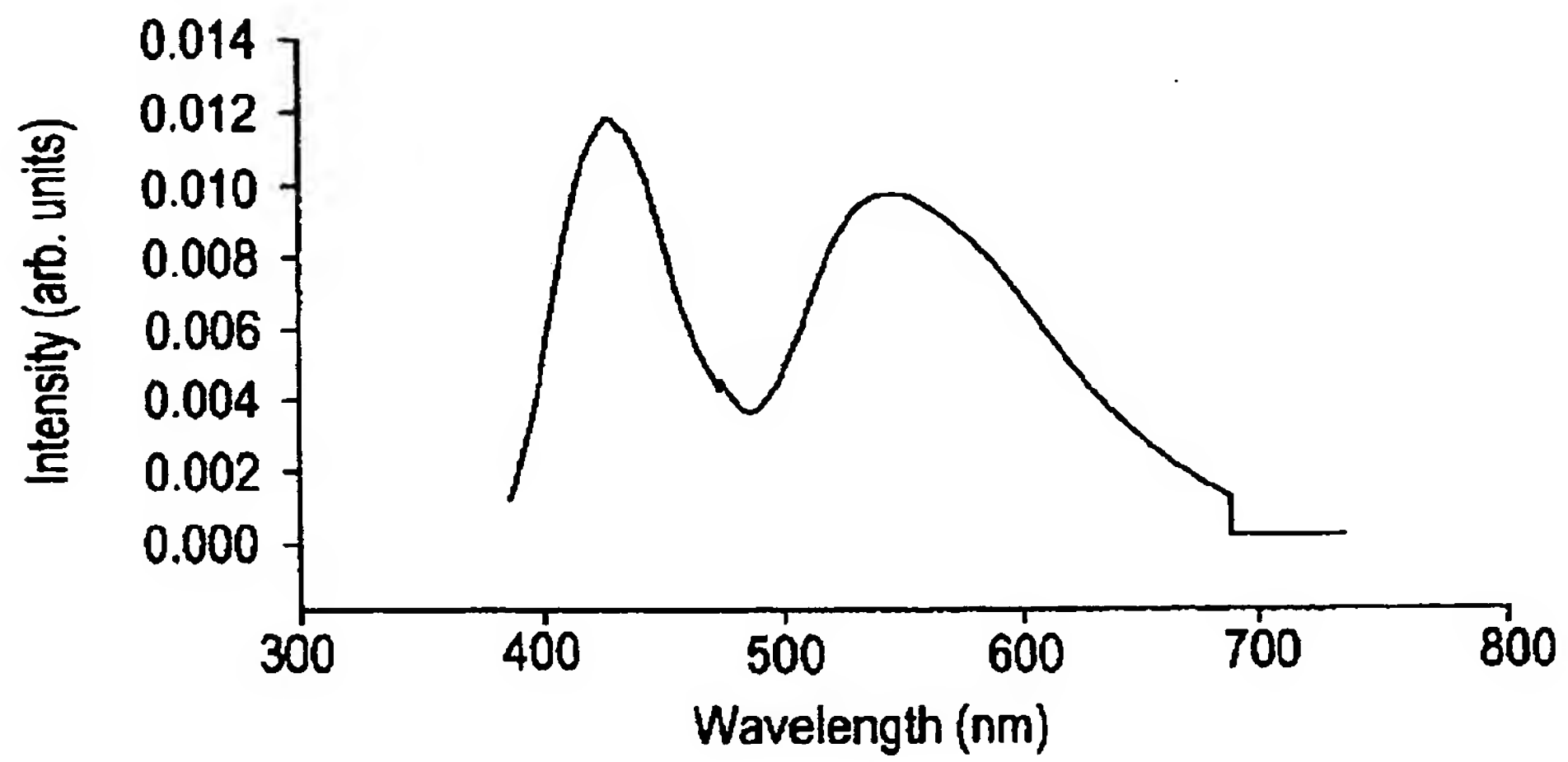


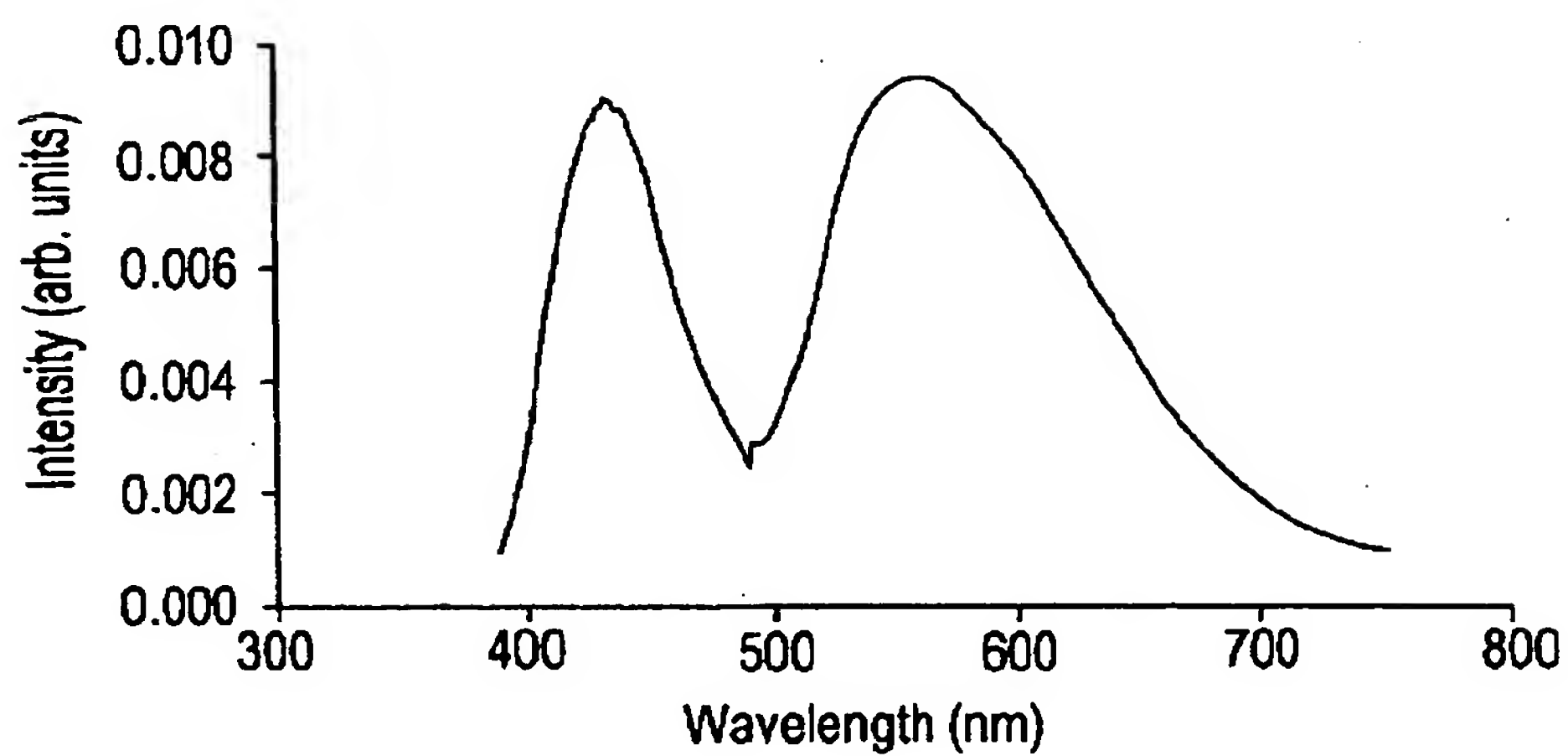
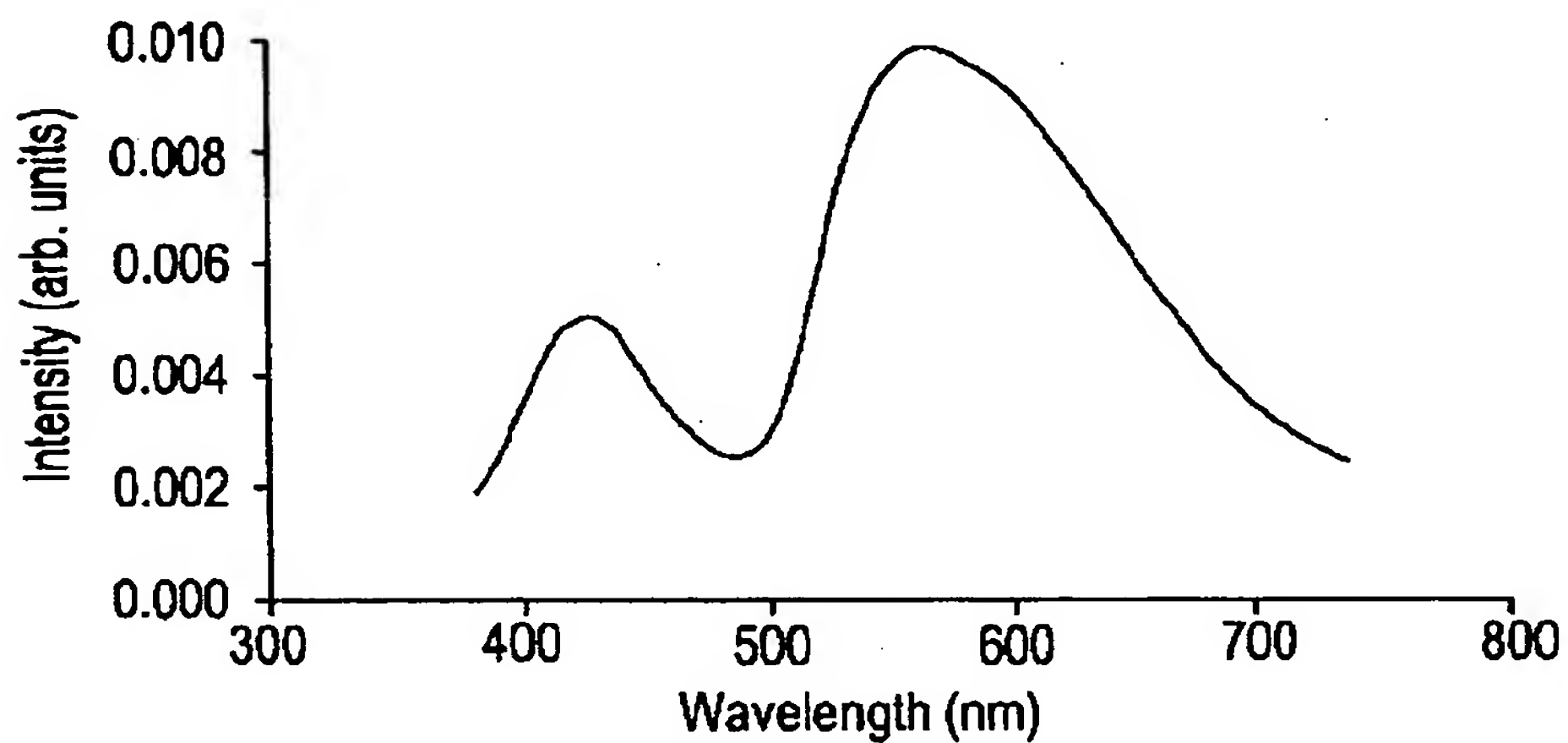
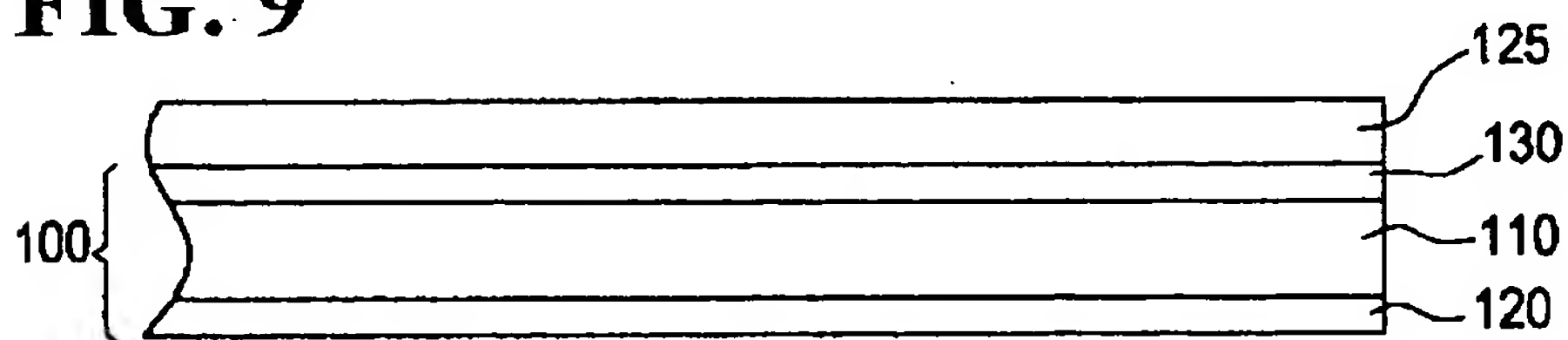
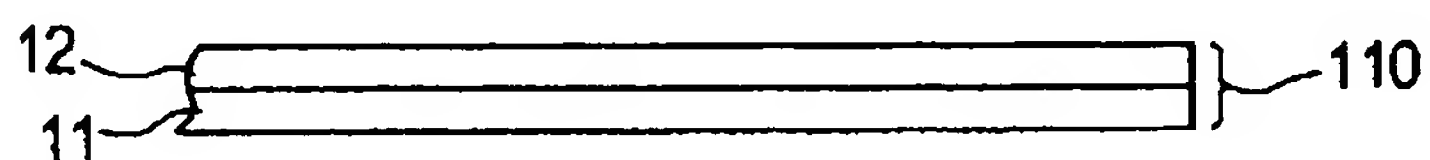
**FIG. 2**

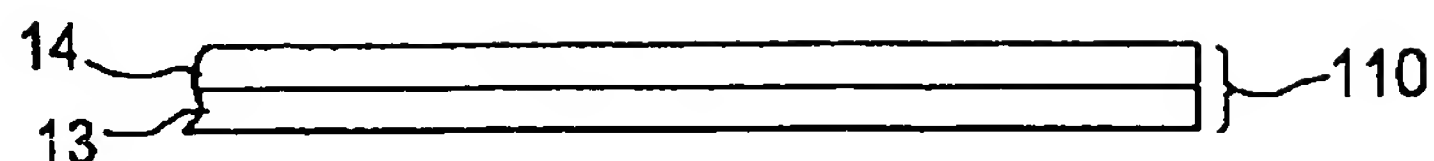
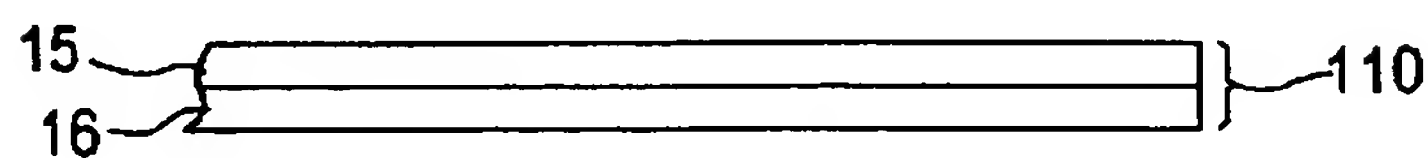




**FIG. 3****FIG. 4**

**FIG. 5****FIG. 6**

**FIG. 7****FIG. 8****FIG. 9****FIG. 10**

**FIG. 11****FIG. 12****FIG. 13****1. Abstract**

A light source comprises an organic light emitting device which emits radiation having a first spectrum and a phosphor layer which absorbs a portion of the light emitted by the organic light emitting layer and which emits light having a second spectrum. The phosphor layer typically absorbs less than all of the light emitted by the organic light emitting layer and typically covers the entire organic light emitting device. The light emitted by the organic light emitting layer is mixed with the light emitted by the phosphor layer to produce light having a third spectrum. Exemplary embodiments of the invention provide advantages over known devices. For example, because a phosphor layer is provided, the light emitted from the organic light emitting device is scattered, which provides improved uniformity in light output over the area of the light source. Also, because most phosphors are relatively stable over time, the light source has good color stability over time.

**2. Representative Drawing:**

Figure 1